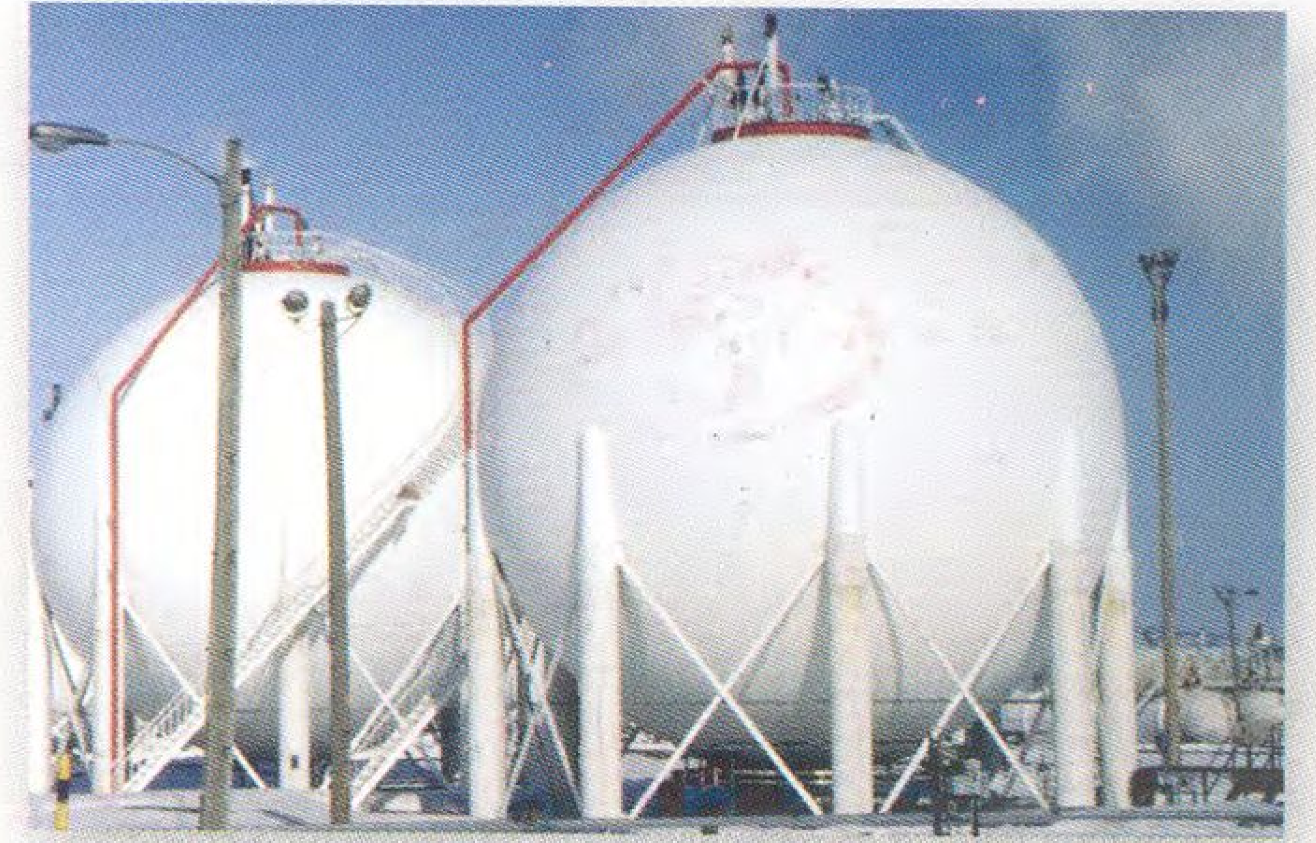
الحماية من التآكل

لمعدات إنتاج ونقل وتصنيع البترول والغاز




مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

الحمـايـة مـن التــآكـل

لمعدات إنتاج ونقل وتصنيع البترول والغاز

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

رقـــم الإيـــداع: 2005/10847
الترقيـــم الدولـــى: 0-533-287-977

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

50 شارع الشيخ ريحان - الدور الأول - شقة 12

عابدين - القاهرة ☎ : 7954229

WWW.sbheg.com
e-mail:sbh@link.net

بسم الله الرحمن الرحيم

مقـــدمة

تقـديـم الكتـــاب :

نظراً للاستثمارات الضخمة التى تنفق فى مجال حقول إنتاج البترول والغاز وكذلك خطوط مواسير النقل والخزانات ومعدات التصنيع والتكرير، فإن حماية المعدات المستخدمة فى هذا المجال من التآكل يعتبر من الأمور الهامة من الناحية الاقتصادية والفنية. ونظراً للطبيعة الخاصة للتآكل والحماية فى مجال الأنشطة البترولية فقد تم الاستعانة فى إعداد هذا الإصدار بالمراجع الحديثة التى أصدرها معهد البترول الأمريكى (API) وكذلك إصدارات الوكالة الدولية لمهندسى التآكل (NACE) .

وقد تم تناول موضوعات أساسيات التآكل وأنواعه وطرق الكشف عن التآكل، وكذلك طرق الحماية بتغطية السطح المعدنى بطبقة حماية واستخدام المواد الغير معدنية، ومثبطات التآكل وطرق الحماية الكاثودية. وقد تم تناول هذه الموضوعات فى 13 فصل. أرجو أن يحقق هذا الكتاب إضافة علمية للمكتبة العربية لندرة الإصدارات فى هذا المجال، كما أرجو أن يحقق الإفادة للعاملين فى مجال إنتاج وتداول وتصنيع البترول والغاز.

والله من وراء القصد.

المؤلـــف

مهندس/ استشارى

محمد أحمد السيد خليل

تمهيـــد

1- التآكل فى عمليات إنتاج البترول :

فى عمليات البترول التآكل من الصعب تجنبه. كثير من الحقول تصنف أنهـا غيـر عدوانية ولكن مع مرور الوقت تزداد مشاكل التشغيل والتلف بسبب التآكل بمـا يتطلـب عمل إجراءات الحماية من التآكل بطريقة أو أكثر من طريقة . إجراءات الحمايـة مـن التآكل تشمل الحماية الكاثودية ، المثبطات الكيماوية ، التحكم الكيماوى مثل إزالة الغازات المذابة ، التخلص من الأكسجين ، ضبط الرقـم الهيدروجين (pH) ، منع الترسـيبات ، التغطية بطبقات الحماية ، خفض الإجهادات ، صدمات التحميل والاهتزازات ، عدم وجود انحناءات حادة ، التداول الصحيح للمعدات والمهمات، مراعاة حدوث التآكل عند التصميم، اللحام الجيد ، تنظيم عمليات الإصلاح. حالياً أصبح متاح أجهزة رصد وقيـاس التآكـل المتطورة والتى أظهرت أن معدل التآكل يمكن أن يتغير بالساعة واليوم والأسـبوع. قـد يحدث التآكل فجأة لأسباب كثيرة منها إنتاج المياه ، التغير فى الضغط. منذ عـام 1950 حدث تطور كبير فى تقنيات الحفر والإنتاج ، ولكن معظم هذه التقنيات صاحبها مشـاكل تآكل حادة. البحث عن احتياطيات جديدة أدى إلى زيادة عمق الحفر، حيث حفرت الآبـار بعمق حتى 30000 قدم . درجة حرارة القاع وصلت إلى 260°م ومقاومة التآكل عندئـذ أصبحت شديدة الصعوبة. ولكن لحسن الحظ فإن هذا الوضع قابله تحدى مـن مهندسـى التآكل فى صناعة إنتاج البترول وفى مجال تطوير نظم الكشف عن التآكل ومقاومة التآكل لتوفير العمر المطلوب للمعدة بأدنى تكلفة مازال التطوير مستمراً.

2- طبيعة المشكلة :

الشكل (1/ت) يوضح بعض الأماكن حيث يمكن حدوث مشاكل التآكل. التآكل يمكن أن يحدث فى أى مكان فى نظام الإنتاج، بدءاً من قاع البئر حتى المعدة المسـتخدمة فـى تصنيع الزيت والغاز لتسويقه.

التآكل أسفل ثقب البئر (Dwonhole Corrosion) :

آبار الضخ: آبار الضخ هى التى تراعى أولاً عند تصميم برنامج الحماية من التآكل لثقب البئر. الآبار ذات الحجم الصغير (2أ/ت) يتم ضخها إلى الخـارج أى أن السـوائل ليست موجودة فى دائرة ماسورة القيسون. لذلك فإن هذه الآبار تفتقـر إلـى الخزانـات

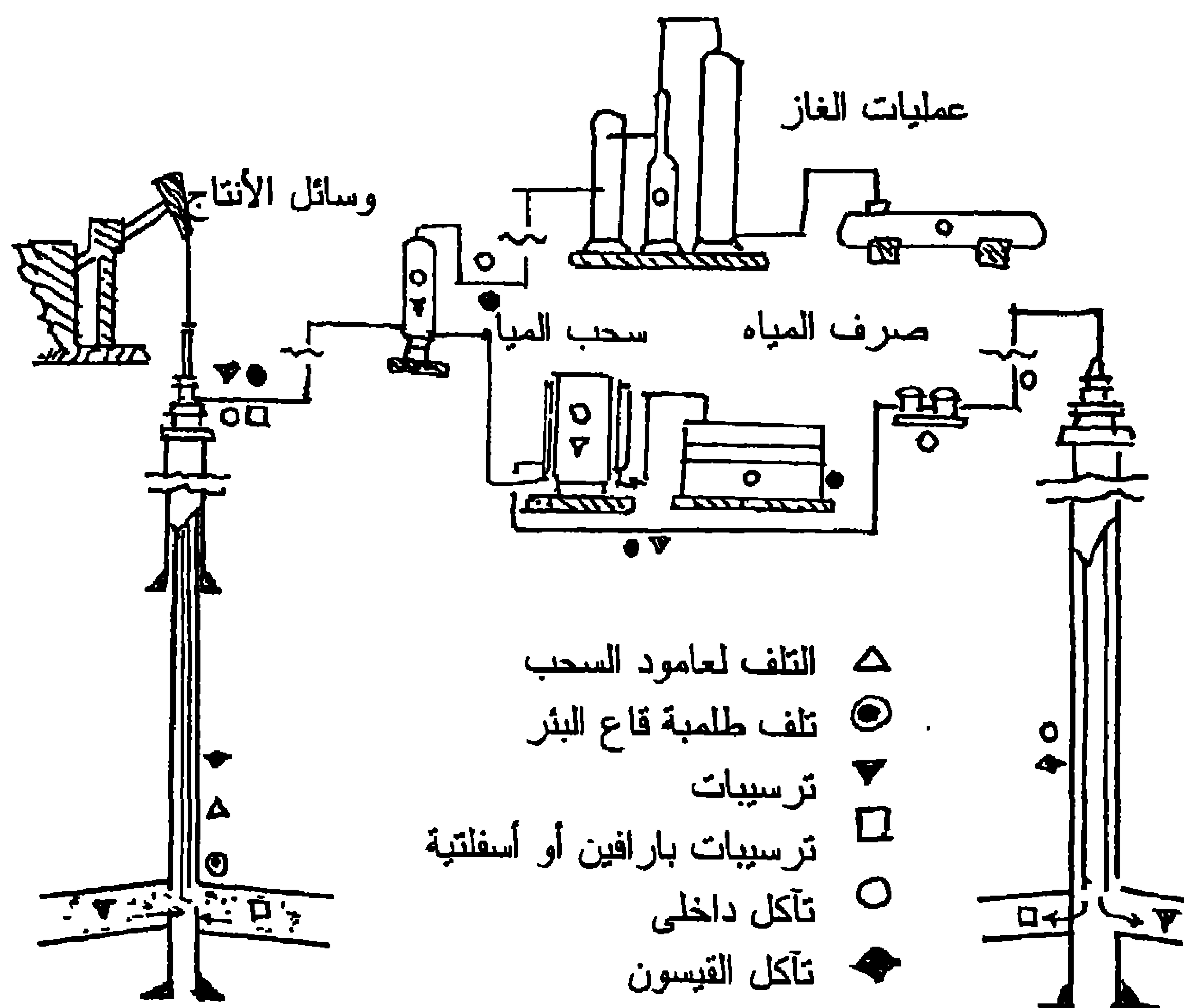
لتخزين سوائل التثبيط لاستمرار الإنتاج خلال فترة زمنية ممتدة. كما أن الأعمدة قد تحتك بجدران المواسير ، حيث تحدث التلف بطبقة الحماية أكثر من الأنــواع الأخــرى لآبــار الضخ . طلمبة قاع البئر يمكن أن تكون شديدة السخونة فى عدم وجود سوائل التبريــد . تكون القشور (Scale) عند الطلمبات هو عادى جداً فى هذه الآبــار . الشــكل (2ب/ت) يبين بئر حيث مستوى السائل مرتفع حيث يوجد الزيت فــوق الطلمبــة لتــوفير خــزان للمثبطات ولتأكيد الإمداد المستمر للسوائل إلى الطلمبة. آبار الضخ ذات الحجــم الكبيــر والمستوى العالى للسائل يمكن تحدث إجهادات عالية على الأعمدة مع احتمــال حــدوث التلف . خلال التآكل (Corrosion Fatigue) يمكن أن يحدث عند أعلا فتحة للبئر عــدا فى حــالة أن تصميم عــامود السحــب يوفر شــكل العــامود المستدق – Tapered) (String. أعمدة السحب (Sucker Rods) تتلف أحياناً فى كل أنواع آبار الضخ . ولكن تم خفض مشاكل صناديق العامود، نهايات المسمار، جسم العامود بتوفير تقنيات التــداول المطورة، مثبطات التآكل ، مادة الصنع المناسبة ، الضخ الصحيح. الاختيار الصحيح لمادة الصنع لطلمبات قاع البئر ذو أهمية بالغة. حيث يجب أن تكون الطلمبــات قــادرة علــى مقاومة الطبيعة العدوانية للسوائل المنتجة وفى نفس الوقت قادرة على ضخ المواد المسببة للاحتكاك مثل الرمل بدون حدوث تلف .

آبار التدفق (Flowing Wells) :

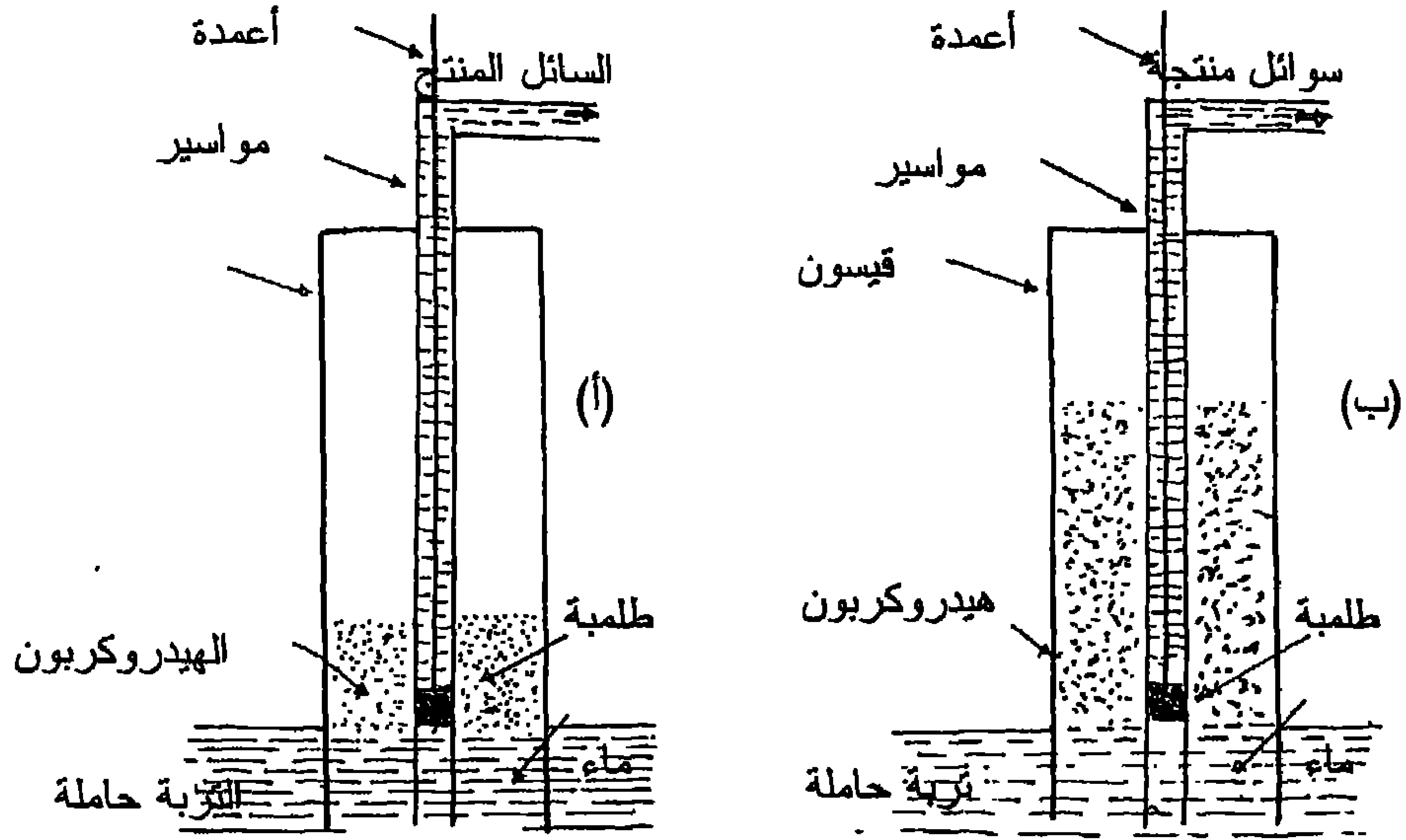
الشكل (3/ت) يوضح مخطط كامل لبئر زيت أو غاز بدون عازل الإنتاج (Packer) ، كذلك يظهر فى الشكل نفس الاكتمال بعازل الإنتاج . فى الآبار بدون عازل إنتاج يمكن استخدام الدوران الحلقى (Annulus) فى توصيل المثبط إلى قــاع عامود المواسير حيث يمكن أن تدخل ماسورة الإنتاج وحمايتها. الآبار ذات عــازل الإنتاج لــيس لــديها هــذا السبيل لحقن المثبط . يمكــن استخدام التغطية بمــواد البلاستيك

على الساخن للسطح الداخلى للمواسير أو إدخال المثبطات لحماية عامود المواســير المستخدم مرحلياً (Batch) ، استبدل المواسير، أو تقنيات حشر المثبط. الطرق الأخــرى لإدخال المثبطات إلى قاع الثقب تشمل القضبان، الإغــراق بالنــازح (Bailer dump) ، الكرات الصغيرة... الخ. معدلات المعالجة المرحلية تتوقف على زمن عمر طبقة المثبط.

آبار الغاز ذات الضغط العالى تحتاج لتقنية أخرى. نظراً لأن هــذه الآبــار شــديدة العدوانية. بعض العاملين يتموا البئر كما فى الشكل (4أ/ت). عامود تخفيض السرعة ذو القطر الصغير (Small diameterkill string) يسير داخل عامود المواسير ليعمــل علــى تدوير السائل . الغرض الرئيسى من عامود الإيقاف أو خفض السرعة هو لتوفير وســيلة لملئ البئر بسائل عالى الكثافة لتمكــين دخولــه بأمــان لأعمــال الصــيانة (Wark Dveoperations).



شكل (1/ت) مكان وأنواع مشاكل إنتاج البترول



شكل (2ب/ت) مخطط للحجم المنخفض ، (2/أ)ت) آبار منسوب السائل العالى موضحاً المكونات الرئيسية

وهو كذلك يوفر وسيلة لاستخدام المثبط باستمرار أو على مراحل . فى حالة عدم امتداد عامود الإيقاف إلى قاع المواسير ، فإنه يستخدم لحماية المواسير طبقة تغطية من البلاستيك على الساخن أسفل عامود الإيقاف .

الشكل (4ب/ت) يوضح عامود إيقاف متوازى الذى يمكن من ضخ المثبط إلى قاع الثقب رغم أن هذا النوع تكلفته الأولية عالية ، إلا أنه يمكن من تثبيط البئر بدون توقف الإنتاج. ذلك يكون ضرورى فى المثال السابق إذا كان كلا من عامود الإيقاف وحلقة ماسورة عامود الإيقاف كان استخدامهم العادى هو توصيل السوائل إلى السطح. الحقن الموجب أسفل عازلة الإنتاج (Packer) يمكن تنفيذه يوضع محبس عدم رجوع فى عامود أنابيب الحفر أو التبطين للإيقاف (Kill string) وتحميل العامود بالمثبط. الشكل التام موضح فى (5/ت) باستخدام حشو مانع للتسرب (Packer) ومحبس حقن الكيماويات عند قاع الثقب . يتم ملئ الفراغ الحلقى للماسورة بالمثبط واستخدام الضغط عند السطح بما يجبر محبس الحقن للفتح.

من وجهة النظر الفنية ، عامود الأنابيب المتوازى يفضل لاستخدام محـابس الحقـن أسفل ثقب البئر. يمكن انسداد محبس الحقن بالمواد الصلبة ، حيث يمكن أن يزيد ضـغط قاع ثقب البئر عن ضغط التشغيل المطلوب للفراغ الحلقى للقيسون، ميزة أخرى لعـامود المواسير الموازى هو أن خليط المثبط أو المثبت النظيف لا يتعرض لفترة زمنية للضغط المرتفع ودرجة الحرارة المرتفعة . يصل المثبت إلى قاع البئر فى زمن قصير، ويكـون التحلل الحرارى للمثبط عند أدناه.

المعدة الإضافية التى يمكن استخدامها أسفل فتحة البئر تشمل عناصر مثل عـوازل الإنتاج (Packers) ، ماسورة السحب (Tail Pipe) ، محابس أمان.. الخ، وهذه أساسية فى آبار الغاز عالى الضغط وتصنع عادة من مواد مختارة مقاومة للتآكل. من الواضح أنه يمكن التخلص من كثير من التلف الذى يحدث فى آبار الضغط العالى بالاختيـار لمـادة الإنشاء المناسبة والتصميم الجيد. من بين التحسينات بالنسبة لآبار الغـاز ذات الضـغط العالى وذات نسبة عالية من جزئيات CO_2 و/أو H_2 وبالتالى الضغط الجزئى العالى لثانى أكسيد الكربون و/أو كبريتيد الهيدروجين. فإن تحسين التصـميم، التثبـيط، والمعالجـة الحرارية المناسبة ساعد كثير فى حل مشاكل التآكل الحلو.

تآكل القيسون (Casing Corrosion) :

القيسون فى بئر الإنتاج قد يتغير من كمية محدودة جدار من ماسورة سطح إلى عدة أعمدة من القيسونات المتحدة المركز (concentric) فى الآبار العميقة عاليـة الضـغط. وجد أن الحماية الكاثودية علاج مناسب لحماية السطح الخارجى للقيسون من التآكل فـى حدود. يتوقف التآكل الداخلى لماسورة القيسون إلى حد كبير على مكونات سوائل عـزل الإنتاج ، حيث يلزم مراجعة كل سوائل العزل بالنسبة للعدوانية قبل استخدامها.

فى حفر واكتمال البئر، سائل الحفر المتروك ما بين جدار الحفر والسطح الخـارجى للقيسون يجب أن يؤخذ فى الاعتبار. هذه السوائل قد تساعد فى حدوث التآكل الخـارجى للقيسون.

فوهة البئر وما عليها (Well Head) :

معدات فوهة البئر خاصة فى آبار الغاز ذات الضغط العالى يمكن أن تتآكل بشـــدة. السرعات العالية والاضطراب يمنع حدوث عمليات الالتئام الذاتى ، ومحابس فوهة البئـــر تكون معرضة . هذا بالإضافة إلى أن الآبار التى تنتج نسبة جزئيات عالية من الغـــازات الحامضية تكون مساعدة لتآكل فوهة البئر .

خطوط التدفق (Flow lines) :

خطوط التدفق أما أن تكون مواسير جديدة أو مستخدمة. تراكم الترسيبات والملوثات الأخرى فى الخطوط ينشط حدوث التآكل والتآكل المثقبى ، بما ينتج عنه تسرب. الأبعـــاد المناسبة للمعدة طبقاً لمعدلات التدفق تكون هامة جداً. يمكن الحد مـــن التآكـــل الـــداخلى لخطوط التدفق باستخدام المثبطات أو طبقات الحماية. الحماية الكاثودية المستخدمة عـــادة مع التغطية تستخدم على نطاق واسع لمنع التآكل الخارجى.

معدات العمليات الصناعية :

أجهزة فصل الغاز عن الزيت (Gas-oil Seperators) عادة لا تمثل مشكلة تآكـــل حادة، ولكن ترسيبات الأملاح المعدنية يمكن أن تكون معوقة لاستمرار الانتاج . أحيانـــاً يحدث التآكل بمصاحبة قشور الترسيبات وخاصة أسفل التيار للمنظمات (Regulators) ومعدة إزالة الرطوبة والماء.

معدة تصنيع الغاز معرضة للتآكل خاصة فى حالة دخول الأكســـجين مـــع البخـــار المساعد فى عملية الفصل أو مع الماء المستخدم لإزالة الملـــح مـــن تدفقـــات سائـــل الهيدروكربون فى عملية الفصل. المعدة المستخدمة فى تجفيف الزيـــت الخـــام معرضـــة لمشاكل للترسيبات والتآكل. درجات الحرارة المرتفعة فى وحدات المعالجـــة الحراريـــة (Heat Treaters) والأوعية المشابهة المستخدمة فى تسخين السوائل القادمة تزيد مـــن الاستعداد للتآكل وترسيبات القشور (Scaling) . المثبطات التى قد تحقق الأداء الجيد فى خليط الماء الهيدروكربون فى خطوط التدفق قد لا تحمى مقطع الماء للسخان. لهذا فـــإن

وحدات المعالجة الحرارية والأوعية المشابهة يتم عـادة حمايتهـا الداخليـة بالطريقـة الكاثودية.

خزانات الحفظ (Storage Tanks) :

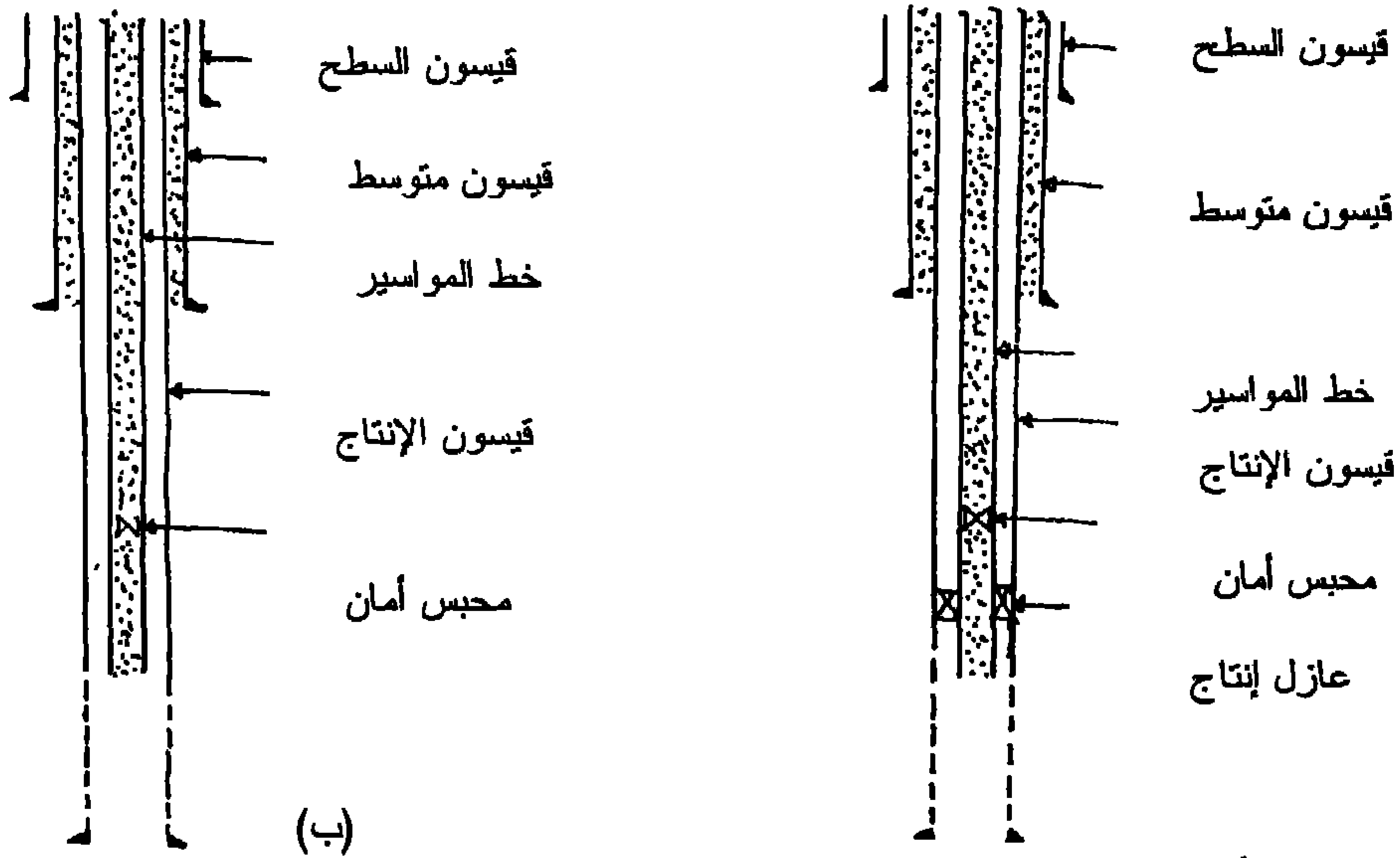
خزانات الحفظ معرضة للتآكل ، خاصة على الجانب السفلى للغطاء حيث تتكثف نقاط الماء مع وجود غاز حامضى و/أو الأكسجين. كذلك فإن التآكل الخارجى لقاع الخزان هو مشكلة مستمرة والتى يمكن علاجها بالحماية الكاثودية و/أو التغطية.

نظم المياه (Water Systems) :

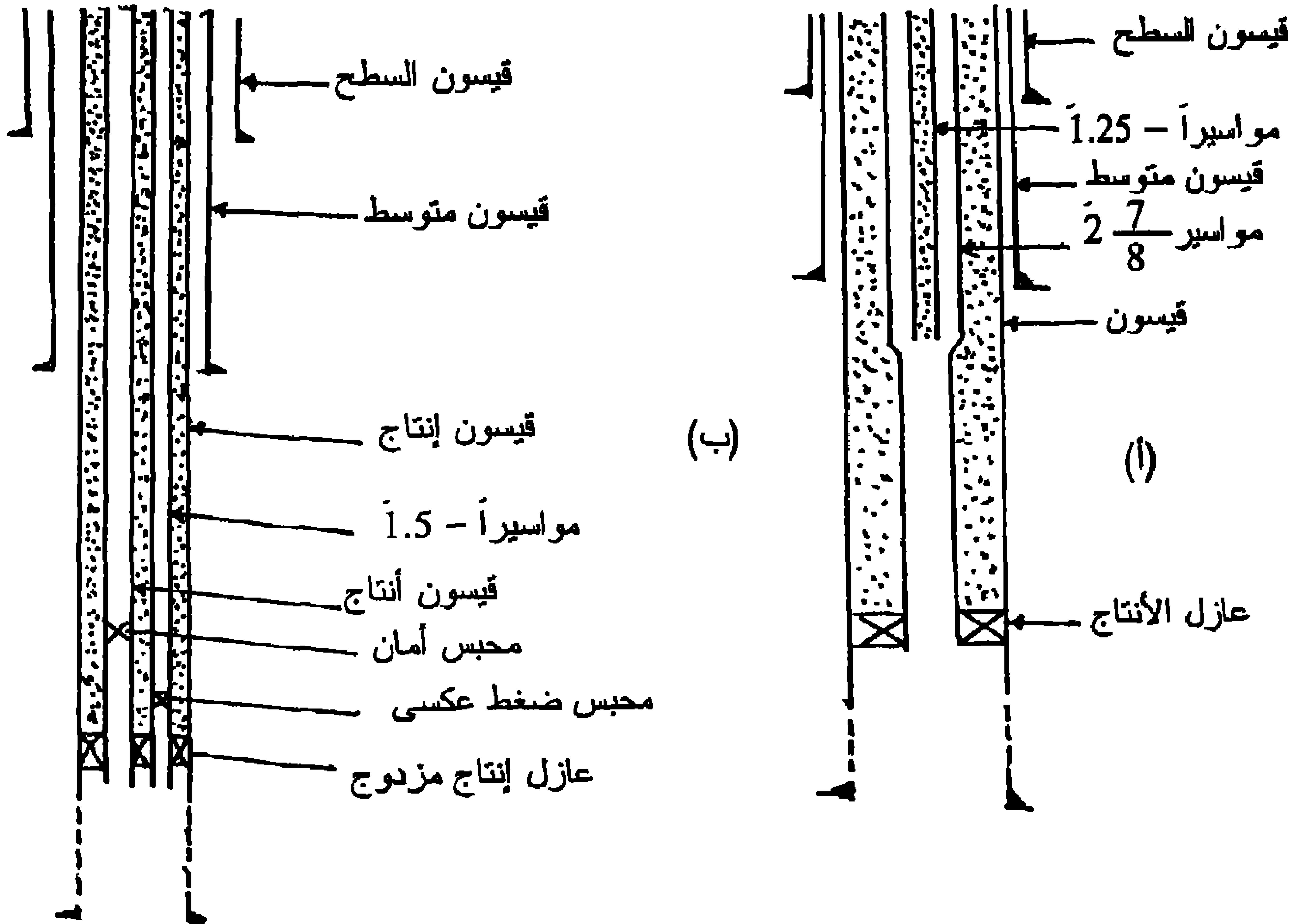
نظام التخلص من المياه أو غمر المياه معرضـة للتآكـل أساسـاً نتيجـة الغـازات الحامضية فى الماء أو بسبب دخول الهواء . المستخدم على نطاق واسع فى نظـم ميـاه حقول البترول للمقاومة هو إزالة الغازات المذابة، واسـتخدام المثبطـات، والتبطـين أو التغطية الداخلية . كذلك يستخدم المواسير البلاستيك المسلحة بالصوف الزجـاجى علـى نطاق واسع فى كل من الاستخدامات السطحية وأسفل فتحة البئر.

آبار سحب أو صرف المياه المالحة ذات مشكلة خاصة. حيث الضغط على خط حقن المياه وكذلك آبار الحقن نفسها يمكن أن يرتفع إلى 8000 رطل/ البوصة المربعـة بمـا يمثل ظروف حادة بالنسبة للمعدن فى الخطوط ومواسير البئر. أعمدة الأنابيب يمكـن أن تتآكل خارجياً على طول السطح الداخلى للقيسون بواسطة السوائل المحيطة فوق عـازل الإنتاج (Packer). والبكتريا من خلال إنتاج H_2S يمكن أن تحدث تآكل فى نظم صرف المياه. يظل الأكسجين مصدر تهديد والسبب الرئيسى لإمداد الأكسجين هى الطلمبات ذات ضغط السحب (Prssured Suction).

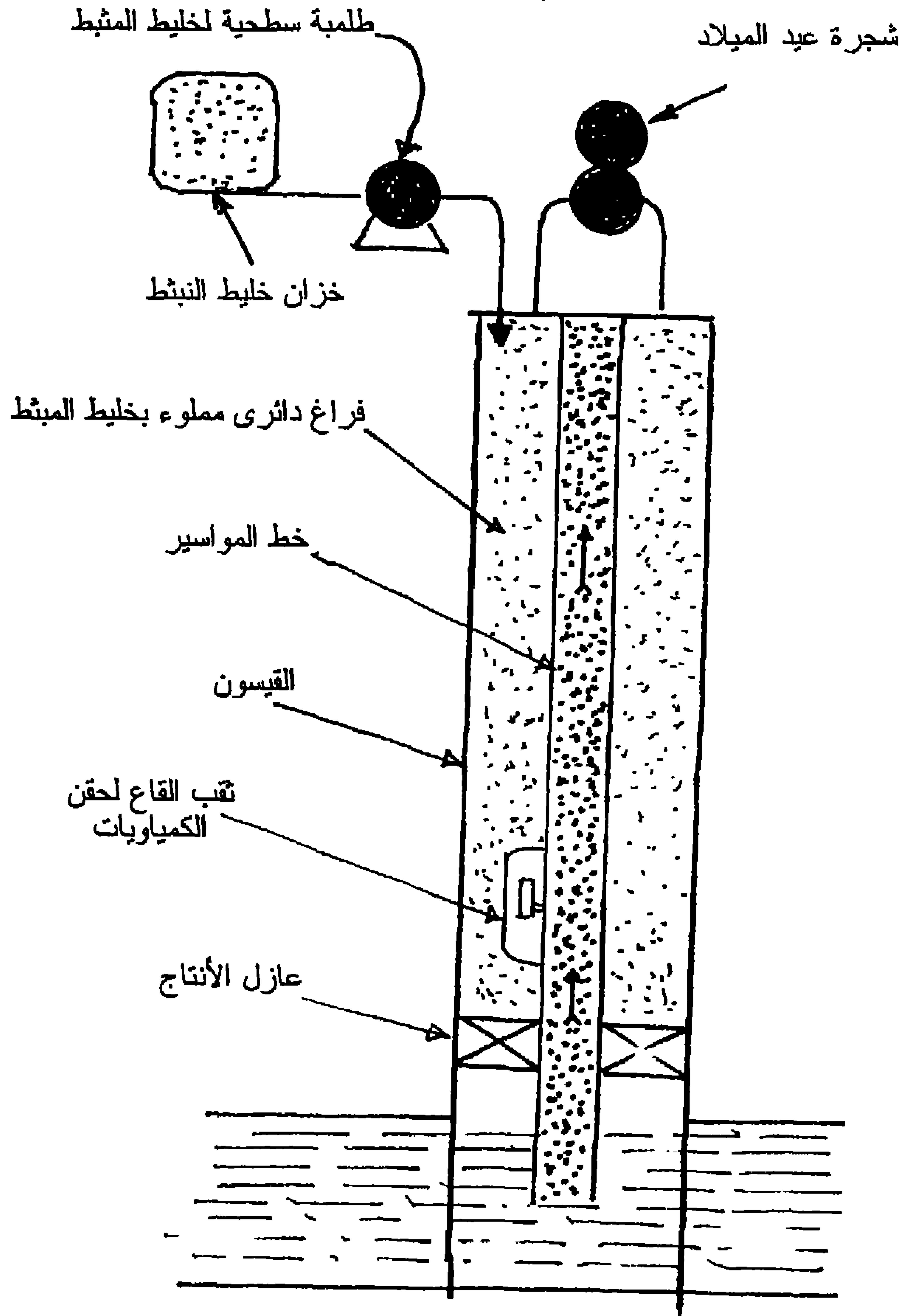
الخلاصة: مقاومة التآكل عملية مستمرة فى عملية الإنتاج.



شكل (3/ت) نموذج لاكمال بئر غاز عالى الضغط (أ) بحمال (ب) وبدون حمال



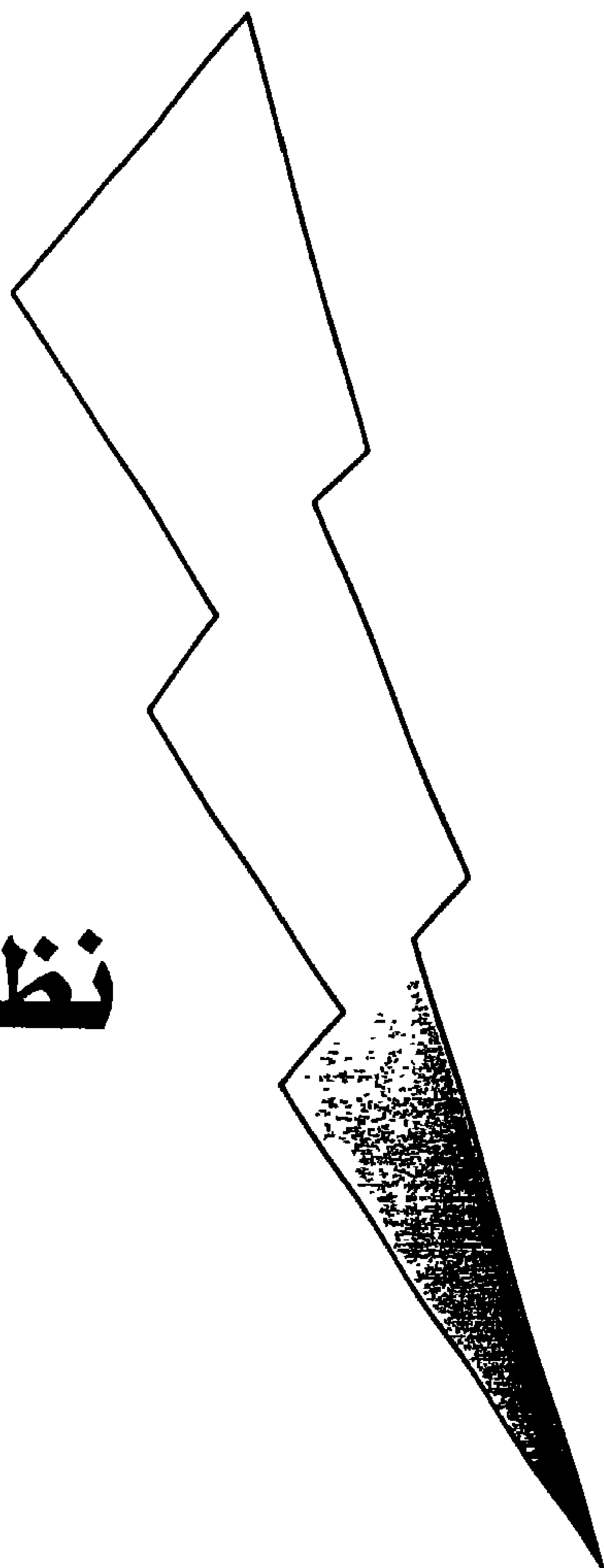
شكل (4أ/ت) بئر غاز عالى الضغط خط مواسير مركزى ،



شكل (5/ت) مخطط لحاقن الكيماويات بفتحة القاع فى البئر

الفصل الأول

نظرية حدوث التآكل



1- التعريف بالتآكل :

يمكن تعريف التآكل بأنه التلف للمادة أو الفقد لخصائصها بسبب التفاعل الكيماوى أو الكهروكيماوي مع البيئة المحيطة. ولتفهم طرق مقاومة التآكل فإنه يلزم معرفة هذه التفاعلات وعوامل تنشيطها.

لماذا يحدث التآكل ؟ معظم المعادن توجد فى الطبيعة فى شكل خاماتها الأولية والتى هى الأكاسيد المعدنية أو الأملاح. خام الحديد يشبه الصدأ، ذلك لأن معظم خام الحديد هو أكسيد الحديديك والذى يسمى الهيماتيت والذى له نفس التركيب الكيماوى لصدأ الحديد ($Fe_2 O_3$). وخام الحديد (الصدأ) يتحول إلى معدن الحديد بإضافة الطاقة الخاصة باستخلاص المعدن من الخام، نفس هذه الطاقة هى التى تنطلق عند تحول المعدن ثانياً إلى الصدأ بسبب التآكل. وفى الواقع فإن الطاقة المختزنة فى المعدن أثناء استخلاصه هى التى تجعل حدوث التآكل ممكناً.

2- طبيعة تفاعلات التآكل :

التآكل الكهروكيميائى هو الشكل الرئيسى لتآكل المعادن. ومن عوامل تنشيط التآكل الظروف الطبيعية والكيماوية والبيولوجية والكهروكيميائية للمجال الملاصق وكذلك طبيعة المعدن. ولتوضيح طبيعة التآكل الكهروكيميائى للمعادن ونظراً لأن الماء أو رطوبة التربة أو رطوبة الهواء هى السبب الرئيسى لحدوث التآكل (حيث الرطوبة متوفرة كذلك فى كل حالات الجفاف للتربة والهواء ولو بنسب قليلة جداً). لذلك فإنه يلزم التعرف على خواص الماء. فى الماء تذوب تقريباً كل الأملاح إلى درجة ما، وتتراوح الإذابة بين أقل من القليل إلى تركيزات عالية تزيد عن تركيزات الملح فى ماء البحر. عند إذابة الأملاح فى الماء فإنها تنفصل إلى نوعين من الأيونات وهما الكاتايونات (cations) والآن أيونات (Anions) ولهما شحنات كهربية مختلفة وينفصلان بالماء نفسه. مثال لذلك فى حالة كلوريد الصوديوم فى الماء يكون شكل الأيونات هو ($NaCl \rightarrow Na^{+} + Cl1$). كأتأيونات الصوديوم لها شحنة موجبة وأن أيونات الكلور سالبة الشحنة. هذه الأيونات هى التى توفر للماء القدرة على التوصيل الكهربى، وهى تعمل على تأين الماءإلى كأتايونات الهيدروجين الموجبة وأن أيونات الأيدروكسيد السالبة ($H_2o \rightarrow 2H^{+} + O^{`}$). المياه المقطرة بها أيونات أملاح قليلة جداً نسبياً لذلك فإن قدرتها صغيرة جداً على حمل التيار الكهربى (وبالتالى القدرة الضعيفة على حدوث التآكل).

التآكل فى وجود الماء هو عملية كهروكيميائية ، حيث الأيونات الناتجة عن إذابة الأملاح فى الماء تعمل على التوصيل الكهربى اللازم لحدوث تيار التآكل، حيث تتجه الكأتايونات الموجبة إلى القطب السالب (الكاثود) والآن أيونات السالبة إلى القطب الموجب (الأنود) . لذلك فإنه خلال عمليات التآكل يحدث سريان للتيار الكهربى. لحدوث التيار الكهربى فإنه يجب وجود قوة دفع (Diriving force) أو مصدر للفولت (الجهد) ، ودائرة كهربية كاملة والتى تشمل الأنود والكاثود والماء الذى يسمى الإليكتروليت واتصال كهربى بين الآنود والكاثود.

مصدر الجهد (Voltage Source) :

مصدر الطاقة أو الجهد (الفولت) فى عملية التآكل هو الطاقة المختزنة فى المعدن فى عملية تنقيته واستخلاصه. حيث أن مختلف المعادن تتطلب طاقة مختلفة للتنقية والاستخلاص من خاماتها الأصلية لذلك فأن استعدادها للتآكل يختلف. فالمعادن حيث الطاقة المختزنة عالية مقارنة بالمعادن الأخرى حيث تقدير الطاقة بقطب قياسى (مثل قطب الهيدروجين أو قطب النحاس/ كبريتات النحاس) يكون استعدادها للتآكل أعلى.

	المعدن	الفولت	
أكبر طاقة لازمة للتنقية أو مختزنة فى المعدن	مغنسيوم	−2.37	استعداد أكبر للتآكل (آنودى)
	ألومنيوم	−1.66	
	زنك	−0.76	
	حديد	−0.44	
	قصدير	−0.14	
	رصاص	−0.13	
	هيدروجين	صفر	
	نحاس	+0.34 إلى +0.52	
	فضة	−0.8	
أقل طاقة لازمة للتنقية أو مختزنة فى المعدن	بلاستيك	−1.2	استعداد أقل للتآكل (كاثودى)
	ذهب	−1.5 إلى 1.68	

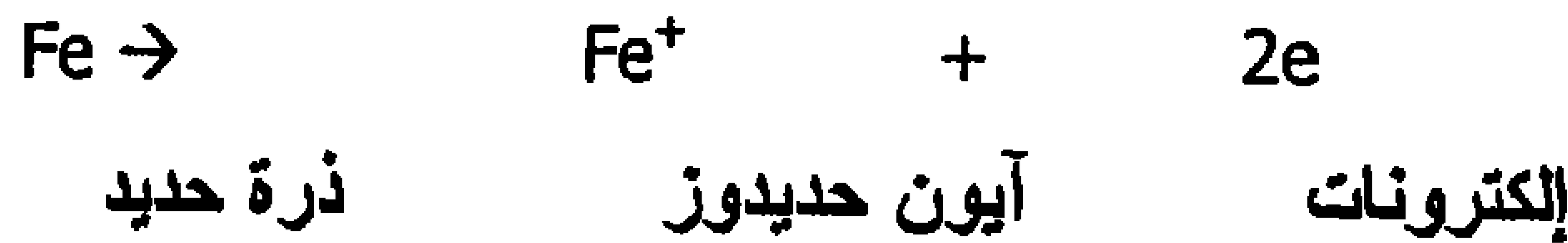
وهذا موضح الجدول الآتى (1/1) توضيح لتسلسل الجهد أو القوة الدافعة للمعادن:

قيمة الفولت (Driving Voltage) الذى ينتجه المعدن عند وضعه فى محلـول المـاء يسمى جهد المعدن (Potential of Metal) وهو مرتبط بالطاقة التى تنطلق عنـد تآكـل المعدن. قيم الجهد هى دلالة لكل من المعدن والخواص الكيماوية والطبيعية للماء، القيمـة الكلية لجهد المعدن تتأثر بمكونات الماء، درجة الحرارة، السرعة وعوامل أخرى كثيرة. ولكن القيم النسبية للمعادن تظل كما هى فى معظم المحاليل. لـذلك نجـد أن المغنسـيوم استعداده للتآكل أكبر من الحديد فى المجالات البيئية المختلفة.

3. الدائرة الكهربية للتآكل :

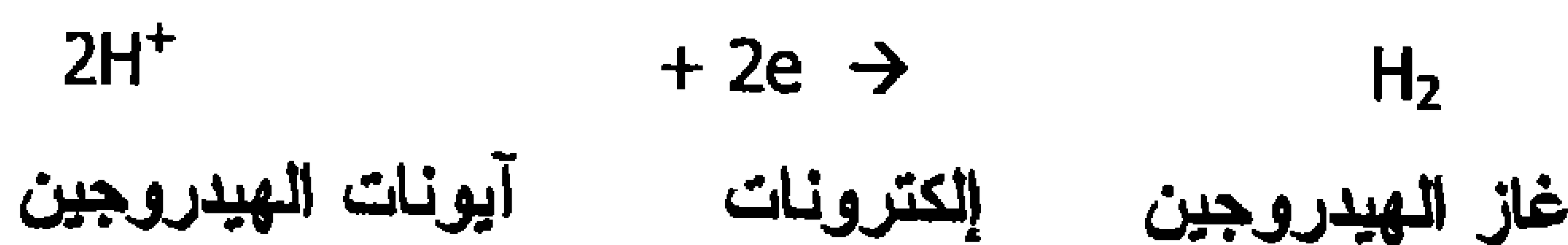
بالإضافة إلى مصدر الجهد (الفوت) ، فإنه يلزم وجود دائرة كهربية كاملـة تتكـون دائرة عملية التآكل من أربع أجزاء.

1- **الآنود** : الآنود هو الجزء من سطح المعدن الذى يتآكل. وهو النقطة التى عندها يذوب المعدن، أو يذهب إلى المحلول. عند إذابة المعدن فإن ذرة المعدن تفقد إلكترونـات وتتحرك إلى المحلول فى شكل آيون نظراً لأن ، الذرات تحتوى على أعداد متساوية من البروتونات (الجسيمات موجبة الشحنة) ، الإلكترونات (جسيمات سالبة الشحنة)، فإن فقـد الإلكترونات سيترك زيادة من الشحنات الموجبة، الآيون الناتج يكون موجـب الشـحنة. التفاعل الكيماوى للحديد هو:

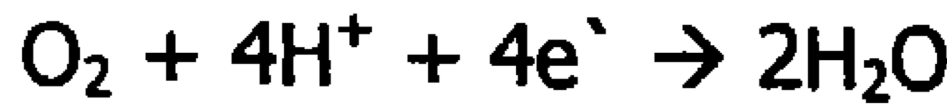


فقد الإلكترونات يسمى الأكسدة. أيون الحديد يذهب إلـى المحلـول، وعـدد اثنـين إلكترون يظلوا فى المعدن.

2- **الكاثود**: الكاثود هو الجزء من المعدن الذى لا يذوب، ولكنه موقـع لتفـاعلات كيماوية أخرى ضرورية لعملية التآكل. الإلكترونات المتروكة عند الآنود بإذابـة الحديـد تسير خلال المعدن إلى سطح الكاثود حيث تستهلك بالتفاعل مع عامل مؤكسد بوجود فـى الماء. استهلاك الإلكترونات يسمى تفاعل الاختزال. التفاعل هو:

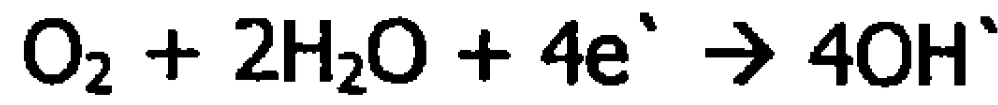


كما أنه فى حالة وجود الأكسجين فإنه يمكن حدوث أحد تفاعلين :



$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

(محاليل حامض)



$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$$

(محاليل متعادلة أو قلوية)

لذا فإن التفاعل عند نقطة الآنود ينتج إلكترونات والتفاعلات عند نقطة الكاثود تستهلك الإلكترونات. هذه هى الظاهرة الأساسية للتفاعل الكهروكيميائى، حيث تنتج الإلكترونات بالتفاعل الكيماوى عند نقطة معينة ، ثم تنتقل إلى نقطة أخرى حيث تستخدم بتفاعل آخر. سريان التيار الكهربى هو فى الواقع مرور الإلكترونات من نقطة إلى أخرى ، ويقال أن سريان التيار الكهربى هو عكس اتجاه حركة الإلكترونات. لذلك، فإن سريان الإلكترونات من نقطة الآنود إلى منطقة الكاثود يسبب سريانً التيار الكهربى فى الاتجاه المعاكس لسريان الإلكترونات ، من الكاثود إلى الآنود. ويجب أن نعرف أن موصل التيار ما بين الكاثود والآنود هو خلال المعدن، حيث ان الممر المعدنى ما بين الآنود والكاثود يجب أن يكون موصل كهربى.

3- **الإلكتروليت:** لاستمرار التفاعلات التى سبق ذكرها ولإكتمال الدائرة الكهربائية، فإن سطح المعدن (الذى يشمل كلا من الآنود والكاثود) يجب أن يكون مغطى بمحلول موصل للكهرباء. هذا المحلول هو المسمى بالإلكتروليت. كما سبق توضحيه فإن الماء النقى يعتبر إلكتروليت ضعيف ، ولكن التوصيل الكهربى يزداد بسرعة بزيادة الأملاح المذابة. الإلكتروليت يعمل على توصيل التيار من الآنود إلى الكاثود، التيار يسرى بعد ذلك من الكاثود إلى الآنود خلال المعدن (أو خلال سلك موصل التيار بين الآنود والكاثود) وبذا تكتمل الدائرة. مخطط لخلية التآكل موضح فى الشكل (1/1) على سطح المعدن، الشكل (1/2) يوضح مخطط توضيحى للدائرة الكهربائية لحدوث التآكل فى حالة معدنين مختلفى الجهد بينهم سلك توصيل ومغمورين فى اليكتروليت. ليس بالضرورة إذابة آيونات المعدن فى نقطة واحدة على سطح المعدن، وكذلك ليست نقطة الكاثود محددة على منطقة معينة من سطح المعدن. ففى حالة التآكل الموضعى (Localized Corrosion) فإن هذا

التآكل يمكن أن يكون تآكل نقبى (Pitty) وهو محدود فى أماكن محددة. كما قد يكون التآكل فى شكل تآكل عام (General Corrosion) حيث يكون عشوائياً على سطح المعدن.

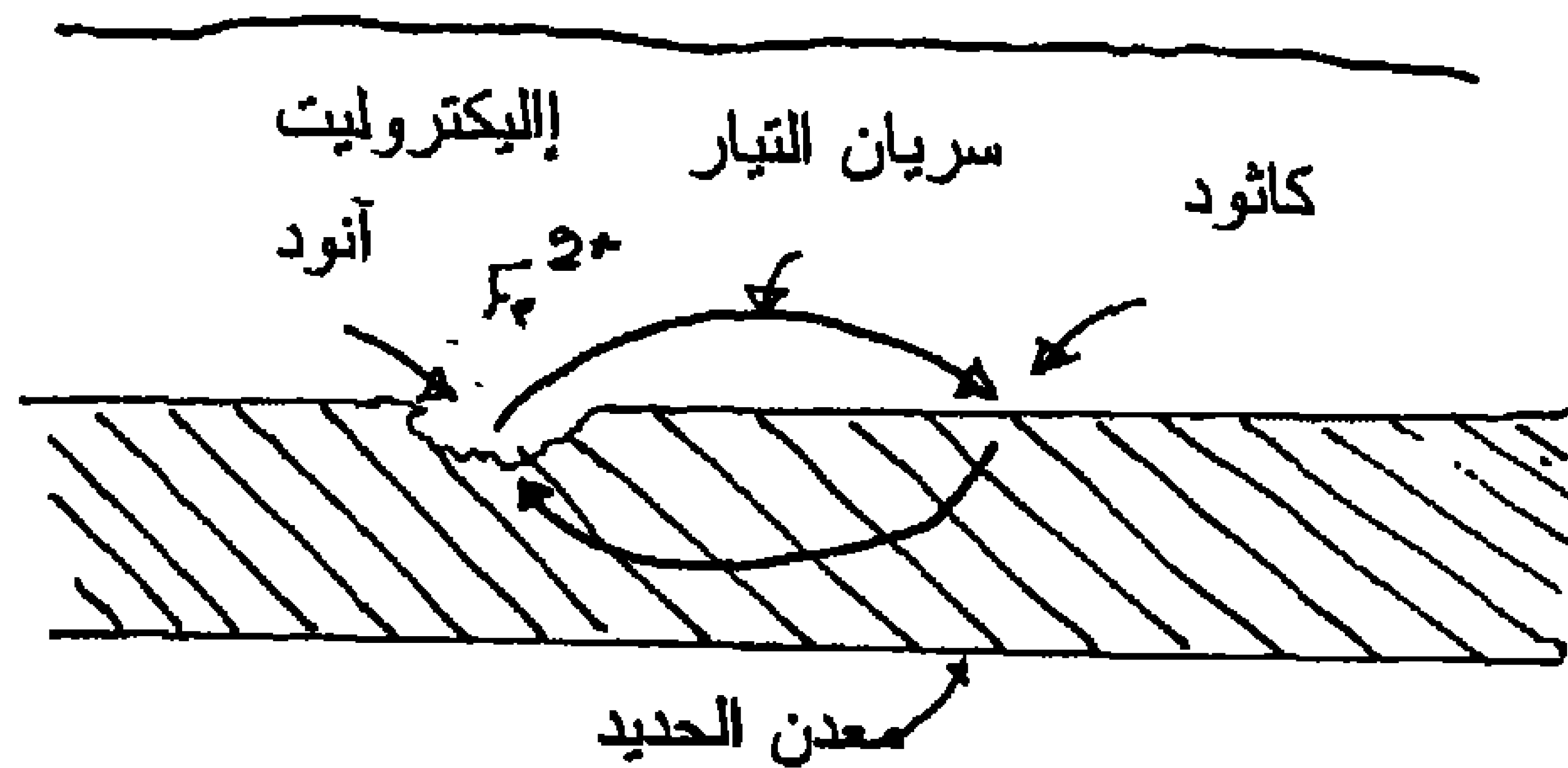
ولكن يبدو سؤال هام وهو لماذا أماكن معينة من سطح المعدن تعمل كآنود، وأماكن أخرى تعمل كاثود ؟ وإن كان السبب هو عدم التجانس على سطح المعدن، أو عدم التجانس فى الإلكتروليت أو فى كليهما. فإن نوع التآكل الذى يحدث يوفر الإجابة عن السبب الرئيسى سواء بالنسبة لطبيعة المعدن أو الإليكتروليت.

4- طبيعة المعادن، تأثير مكونات الإليكتروليت :

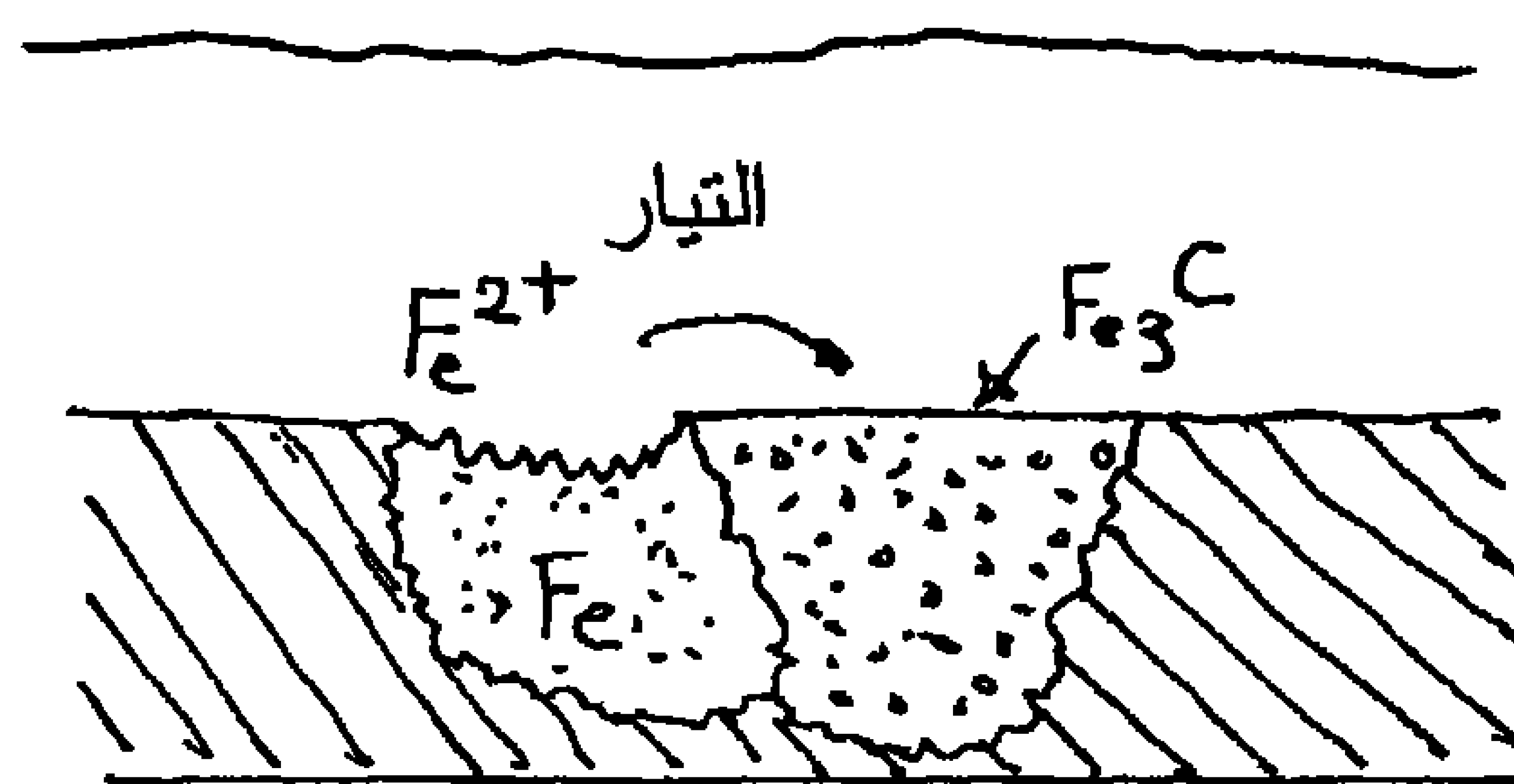
أ – طبيعة المعادن (Nature of Metals) :

المعادن التجارية ليست متجانسة ولكنها تحتوى على شوائب، وترسيبات، وكذلك مجالات متعددة مختلفة. فعند التصاق المعدن بالإليكتروليت فإنه يحدث فرق جهد بين هذه المجالات مسبباً وجود خلايا تآكل على سطح المعدن.

فمثلاً الصلب هو سبيكة من الحديد والكربون. الحديد النقى ضعيف وهو مادة لها قصافة (هشاشة)، ولكن عند وجود كميات صغيرة من الكربون (حوالى من 0.1 إلى 1%) فإنه ينتج مادة أكثر قوة وهى سبيكة الصلب. ولكن نتيجة تفاعل جزء من الحديد مع الكربون، فإنه يكون لدينا معدن مكون من مادتين وهما الحديد المحتوى على الكربون المذاب وكربيد الحديد (Fe_3C). كربيد الحديد يكون موزعاً خلال الحديد كجزر ميكروسكوبية رقيقة. كربيد الحديد استعداده للتآكل أقل من الحديد النقى.



شكل (1/1) مخطط توضيحى لتدفق التيار والإليكترونيات
فى خلية تآكل موضعى على سطح معدن الحديد فى الاليكتروليت



شكل (1/2) مخطط لسريان التيار ما بين الحديد وحبيبات كربيد الحديد حيث يحدث التآكل للحديد

مكان المناطق الآنودية والكاثودية لحالات التآكل الميكرونية (Micro Cells) قد يتغير مع الوقت. مع تراكم نواتج التآكل فإن توزيع الجهد على سطح المعدن قد يتغير، حيث تتغير الأماكن الآنودية . التآكل البينى للحبيبات يكون بسبب ويتم تنشيطه باختلاف الجهد بين الحبيبات والفواصل بين الحبيبات . التسخين الموضعى يمكن أن ينتج عنه تغير فى طبيعة المجالات (Phases) أو مكوناتها، بما ينتج عنه اختلاف فى الجهد لذلك، فإن المعادن هى مواد غير متجانسة ، وأن الاختلاف فى الجهد على سطح المعدن هو نتيجة طبيعية ، هذه الاختلافات هى أحد الأسباب الرئيسية التى تنشط تفاعلات التآكل الموضعى.

ب- تأثير مكونات الأليكتروليت :

يوجد عاملين بالنسبة لتأثير مكونات الاليكتروليت على التآكل، ذلك الذى يؤثر على التوصيل وذلك الذى يؤثر على جهد التآكل للنظام. الأخير يعتمد على وجود أو عدم وجود عوامل الأكسدة اللازمة للأداء الكاثودى لتفاعل خلية التآكل. تلك هى العوامل الهامة ذلك لأن التفاعل الآنودى لا يمكن حدوثه فى غياب التفاعل الكاثودى، ذلك بصرف النظر عن التوصيل الكهربى للاليكتروليت. فى مجال إنتاج البترول والغاز، يوجد عاملين مساعدين للتآكل (عوامل أكسدة) فى معظم مشاكل التآكل. وهما كبريتيد الهيدروجين (حموضة) والأكسجين.

(1) التوصيل الكهربى: زيادة الأملاح المذابة فى الاليكتروليت تزيد من التوصيل الكهربى وبالتالى، تزيد من معدل التآكل ، ولكن المياه المالحة الخالية من الأكسجين تصبح غير عدوانية. وجود الغزات المذابة المسببة لانخفاض الرقم الهيدروجينى

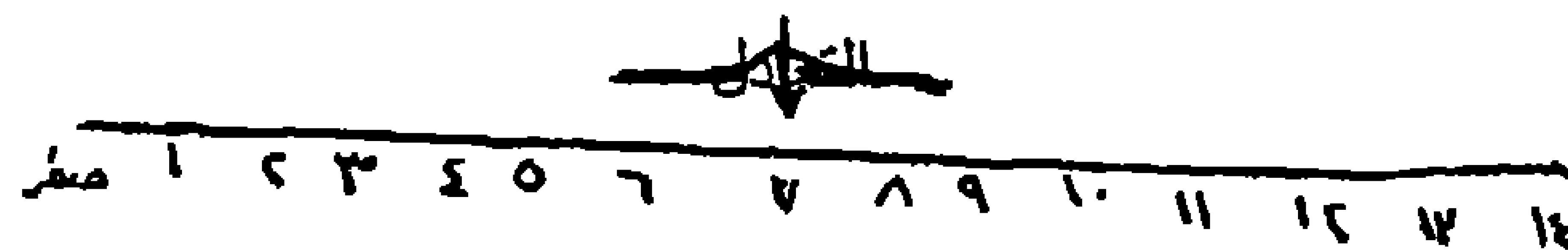
للاليكتروليت يمكن أن تزيد من عدوانية الاليكتروليت ضعيف التوصيل الكهربى. فى حقل البترول حيث الخليط بين الزيت والماء. الماء شديد الملوحة عالى التوصيل الكهربى والزيت غير موصل والخليط من الزيت والماء يمكن أن يكون غير موصل فى حالة استحلاب الماء فى الزيت.

(2) الرقم الهيدروجينى (pH – value) : الرقم الهيدروجينى للماء يعبر عنه عادة كرقم ما بين صفر، 14 وهو اللوغاريتم السالب لتركيز آيون الهيدروجين.

$$pH = -Log [H^+]$$

مع زيادة تركيز آيونات الهيدروجين كلما زادت حموضة المحلول وانخفض الرقم الهيدروجينى . الرقم الهيدروجينى 7 (pH=7) يعنى أن المحلول متعادل، زيادة الرقم الهيدروجينى تعنى زيادة القلوية وكذلك الرقم الهيدروجينى أقل من 7 يعنى زيادة الحموضة.

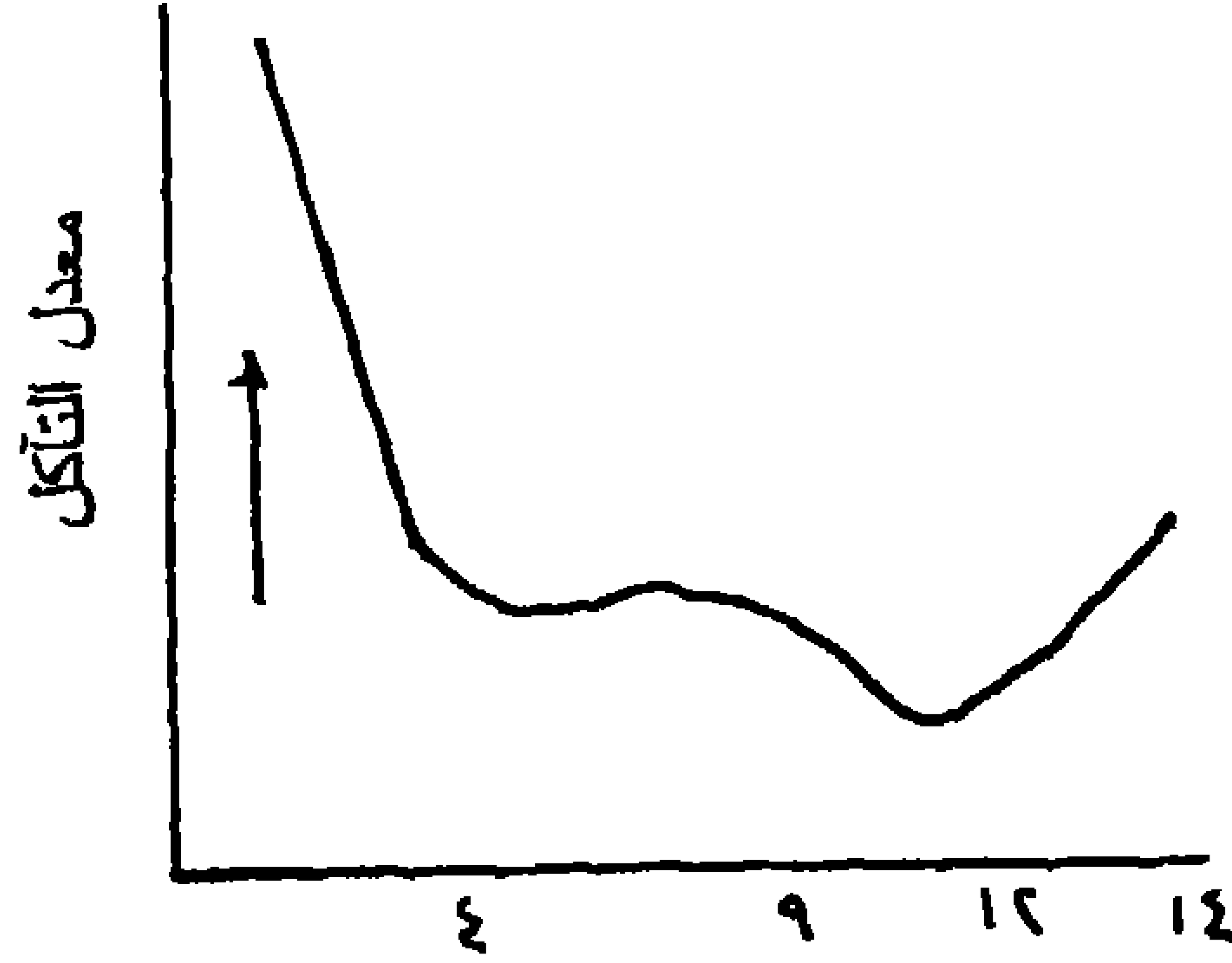
نظراً لأن الرقم الهيدورجينى هوة دلالة لوغاريتمية فإن المحاليل ذات رقم هيدروجينى 6، 5، 4 هى 10، 100، 1000 ضعف حموضة المحلول عند رقم هيدروجينى 7. أيون الهيدروجينى (H^+) يحول المحلول إلى الحالة الحامضية حيث يدفع الرقم الهيدروجينى فى اتجاه الصفر. أيون الأيوروكسيد (OH^-) يحول المحلول إلى الحالة القلوية ويدفع الرقم الهيدروجينى إلى أعلا شكل (1/3).



شكل (1/3) مخطط الرقم الهيدروجينى

معدل التآكل للصلب يزداد عادة مع انخفاض الرقم الهيدروجينى للماء. وكذلك فإن القلوية العالية جداً للمحاليل يمكن أن تكون عدوانية. التغير العام لمعدل تآكل الصلب مع الرقم الهيدروجينى موضح فى الشكل (1/4). ولكن التغير الحقيقى لمعدل التآكل مع الرقم الهيدروجينى يتوقف على مكونات الماء أو الاليكتروليت. فى كثير من حالات المياه المالحة وكذلك المياه ذات العسر العالى وخاصة عندما تكون درجات الحرارة مرتفعة، قد

تتكون ترسيبات من إيدروكسيدات الحديد أو الكربونات على سطح الصلب وهذه تمنع أو تبطئ من حدوث التآكل.



شكل (1/4) منحنى معدل تآكل الصلب طبقاً لتركيز أيون الهيدروجين فى الأليكتروليت

3- الغازات المذابة :

وجود الغازات المذابة (الأكسجين، ثانى أكسيد الكربون، كبريتيد الهيدورجين) يزيد من العدوانية، فى الواقع الغازات المذابة هى السبب الرئيسى للتآكل. ففى حالة إمكان التخلص منها مع المحافظة على الرقم الهيدروجينى فى حالة التعادل أو الحالة القلوية قليلاً فإنه يمكن خفض مشاكل التآكل.

(أ) **الأكسجين المذاب** : الأكسجين هو أهم عامل لتنشيط التآكل، حيث يمكن أن يحدث تآكل حاد ولو كان بتركيزات قليلة لأقل من واحد جزء فى المليون. أما فى حالة وجود ثانى أكسيد الكربون أو كبريتيد الهيدروجين أو كليهما فإن ذلك يزيد من العدوانية. يجب معرفة أن الأكسجين لا يوجد فى المياه الجوفية. أما فى حالة وجوده فيكون ذلك نتيجة تعرض هذه المياه للهواء الجوى. ماء البحيرات والبحار والمسطحات المائية عموماً يكون مشبعاً بالأكسجين، أما الماء من الآبار الضحلة قد يحتوى على قليل من الأكسجين المذاب.

إذابة الأكسجين فى الماء يكون بدلالة الضغط ودرجة الحرارة والمحتوى من الكلوريد. الأكسجين أقل إذابة فى المياه المالحة عن المياه العزبة. تآكل الأكسجين يحدث بالتفاعلات الآتية :





الأكسجين يعجل التآكل فى معظم الظروف، ذلك لأنه قوى (يوفر جهد كهروكيميائى عالى) وعامل أكسدة سريع فى التفاعلات الكاثودية. وهذا يعنى أنه يتحد بسهولة مع الإلكترونات عند الكاثود. وهذا يعنى أنه سوف يتحد مع الإلكترونات بسهولة عند الكاثود ومن ثم العمل على استمرار تفاعل الكاثود بمعدل يتحدد أساساً طبقاً لمعدل انتشار الأكسجين نحو الكاثود. من المهم معرفة أن عدوانية المياه النقية تزداد بزيادة المحتوى من الأكسجين المذاب إلى حد معين. ففى حالة وجود أكسجين كافى فى الماء فإن أكسدة الحديدوز إلى الحديديك ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) قد تحدث بسرعة، وذلك قبل أن تتسرب أيونات الحديدوز (Fe^{2+}) بعيداً عن سطح المعدن. فى هذه الحالة يمكن أن يتكون أيدروكسيد الحديدك $Fe(OH)_3$ على سطح المعدن ويصبح طبقة حماية ولكن فى حالة وجود أيونات كلوريد كافية فإنها تتدخل مع طبقة الحماية مع استمرار معدل التآكل ليزداد مع زيادة تركيز الأكسجين.

(ب) ثانى أكسيد الكربون المذاب : عند إذابة ثانى أكسيد الكربون فى الماء، فإنه يكون حامض الكربونيك، وبذا ينخفض الرقم الهيدروجينى للماء وتزداد العدوانية. وهو ليس عدوانى مثل الأكسجين ولكنه يسبب التآكل الثقبى.

$\rightarrow$ (حامض كربونيك)

$\rightarrow$ (ناتج التآكل)

التآكل الذى يكون أساساً بسبب ثانى أكسيد الكربون يسمى التآكل الحلو (Sweet Corrosion) لوجود CO_2 وعدم وجود H_2S.

بالإضافة إلى الحموضة الناتجة عن ثانى أكسيد الكربون، فإن الأحماض العضوية ذات الوزن الجزئى المنخفض مثل حامض الأسيتيك تساعد فى حدوث التآكل، هذه الأحماض نادراً ما تكون السبب الرئيسى فى التآكل الحلو "Sweet" ولكن أحياناً تقوم بدور رئيسى فى تحديد معدل حدوث التآكل.

حيث أن ثانى أكسيد الكربون له هذا الدور فى التآكل الحلو، فإنه سوف يتم تناول بعض العوامل التى تتحكم فى سلوكه. العوامل الهامة الخاصة بإذابة ثانى أكسيد الكربون فى الماء هى الضغط ، درجة الحرارة ، ومكونات الماء ، الضغط يزيد من الإذابة حيث ينخفض الرقم الهيدروجينى شكل (1/5). درجة الحرارة تقلل من الإذابة وتعمل على رفع الرقم الهيدروجينى (1/6)، وكثير من الأملاح المعدنية المذابة قد تسبب الدرئ للماء (Buffer) أى عدم خفض الرقم الهيدروجينى.

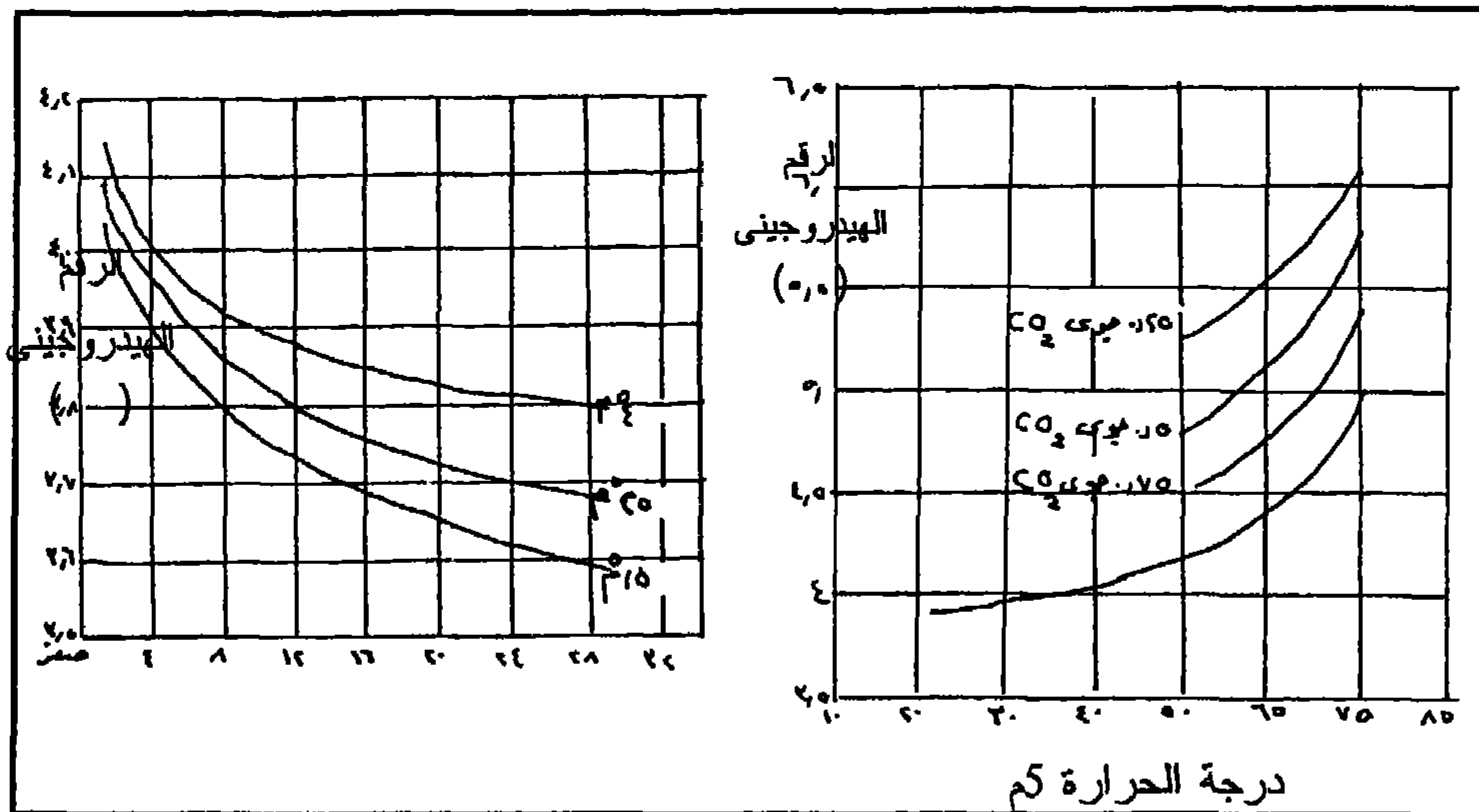
فى حالة بئر الغاز المكثف (Gas Condensate Well) حيث توجد قليلاً من الأملاح المعدنية المذابة ودرجة الحرارة المرتفعة نسبياً، فإن الضغط هو العامل الحاكم الذى يؤثر على إذابة ثانى أكسيد الكربون. فى الواقع فإنه يمكن استخدام الضغط الجزئى (Partial Pressure) لثانى أكسيد الكربون كمقياس لتقدير عدوانية آبار الغاز المكثف. يمكن تعيين الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون بالمعادلة التالية.

الضغط الجزئى = الضغط الكلى × نسب جزئيات CO_2 فى الغاز (Molfraction).
فمثلاً: فى بئر حيث الضغط عند القاع 3500 رطل/ البوصة المربعة، ومحتوى الغاز من ثانى أكسيد الكربون هو 2%.

∴ الضغط الجزئى = 3500 × 0.02 = 70 رطل/ البوصة المربعة عند قاع البئر
وباستخدام الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون كأداة لتقدير التآكل فإنه يتم استخدام العلاقة التالية

- الضغط الجزئى 30 رطل / البوصة المربعة عادة يظهر حدوث تآكل.
- الضغط الجزئى ما بين 3 إلى 30/رطل البوصة المربعة يظهر احتمال حدوث التآكل.
- الضغط الجزئى أقل من 3رطل/ البوصة المربعة يعتبر عادة غير عدوانى.

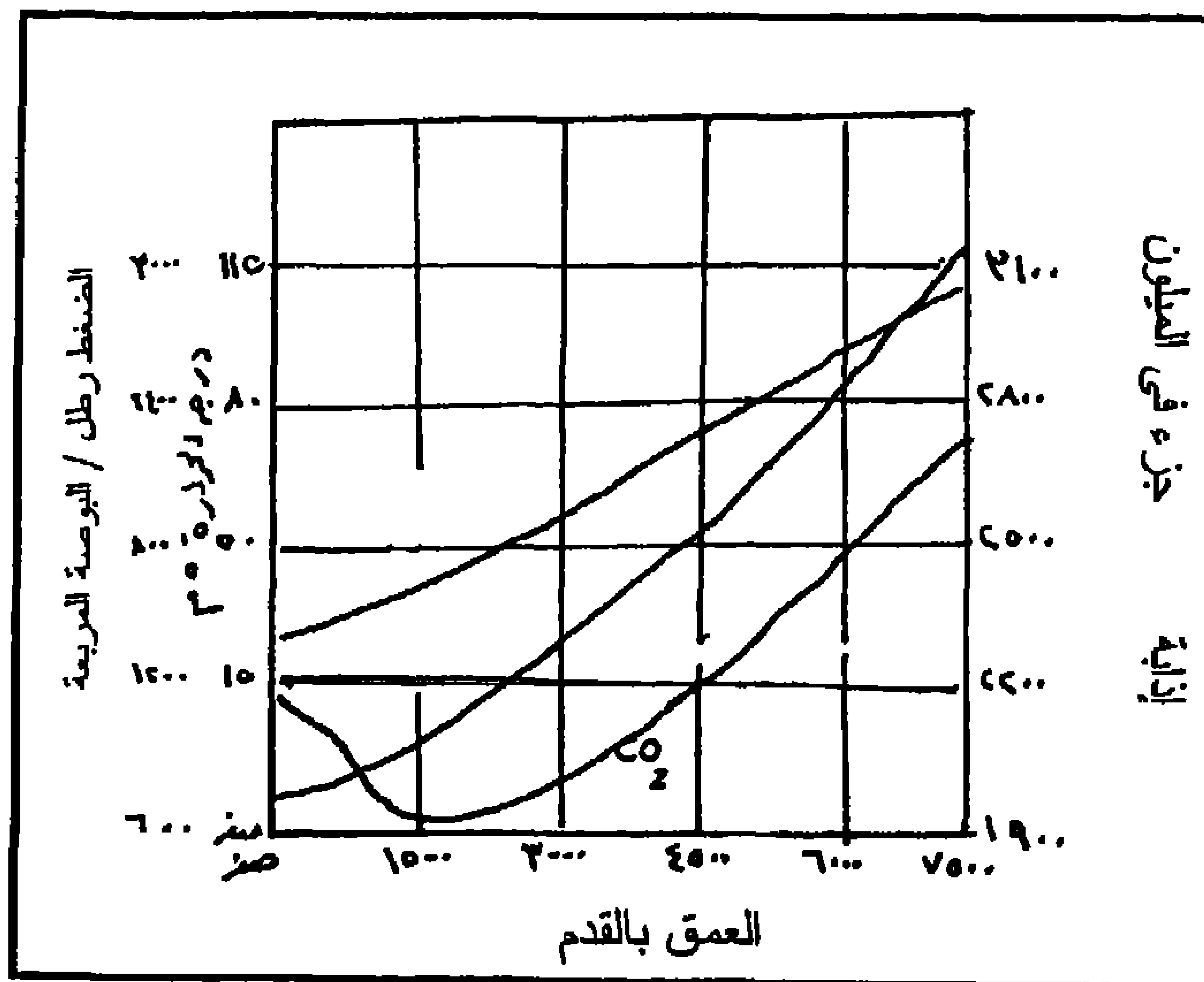
المياه المالحة المنتجة عادة بواسطة آبار الزيت الخالية من الكبريت (Sweet Oil) تحتوى على مواد معدنية مذابة والعلاقة السابقة لا تنطبق دائماً. ولكن يحدث التآكل عادة عند ارتفاع المحتوى من ثانى أكسيد الكربون. كتقريب أولى فإن الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون يفيد فى تقدير عدوانية آبار الزيت الخالى من الكبريت (Sweet Oil Wells) الإذابة المحسوبة لثانى أكسيد الكربون فى بئر زيت خالى من الكبريت موضح فى الشكل (1/7).



الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون – رطل /البوصة المربع

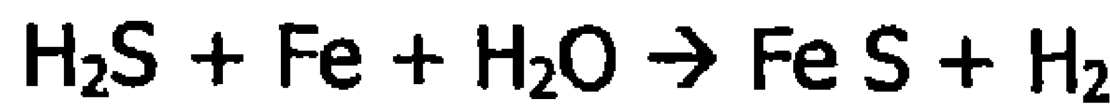
شكل (1/5) تأثير الضغط الجزانى أكسيد لكربون على الرقم الهيدروجينى لمياه

شكل (1/6) تأثير درجة الحرارة على الرقم الهيدروجينى



شكل (1/7) إذابة عند مختلف أعماق لبئر الزيت

(جـ) كبريتيد الهيدروجين المذاب: كبريتيد الهيدروجين شديد الذوبان فـي المـاء، وعند إذابتة فإنه يعمل كحامض ضعيف وعادة يسبب التآكل الثقبى (Pitting). العدوانيـة بسبب وجود كبريتيد الهيدروجين تسمى عادة تآكل حمضى (Sour Corrosion) . وجود كلا من كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون أكثر عدوانية من كبريتيد الهيـدروجين فقط وهذا موجود أحياناً فى بيئة حقول البترول. هذا بالإضافة إلى أن وجـود الأكسـجين ولو بكميات صغيرة جداً يمكن أن يسبب كارثة. التفاعل العام للتآكـل يمكـن توضـيحه ببساطة كالمعادلة:



$$H_2S + Fe + H_2O \rightarrow FeS + H_2$$

رغم أن الحديد هو الموضح فى هذه المعادلة إلا أن المعادن الأخرى يمكن أن تتفاعل بنفس الطريقة مكونة كبريتيد المعدن. كبريتيد الحديد (FeS) الناتج عن هذا التفاعل يلتصق عادة على سطح الصلب كمسحوق أسود أو كشقور (Scales). هذه القشور تعمـل علـى تعجيل التآكل الموضعى وذلك لأن كبريتيد الحديد يعمل كاثود بالنسبة للصلب، وهذا عادة ينتج عنه تآكل ثقبى عميق.

بعض المشاكل الخطرة التى قد تكون نتيجة تآكل الكبريتيد هى التقرح الهيـدروجينى (Hydrogen Blistering) وتشقق الكبريتيد (Sulphide Cracking)، حيث سـيتم تنـاولهم فيما بعد.

يجب معرفة أن كبريتيد الهيدروجين يمكن كذلك تخليقه بالكائنات الحية الصغيرة فى مجال إنتاج البترول والغاز، المصدر الرئيسى للمشاكل هو البكتريا المختزلة للكبريتـات (مثل: Desu fovibrio, Deusl faricans) هذه البكتريات تساعد فى التآكل بسبب قـدرتها على النمو فى وجود كميات صغيرة من الأكسجين . الظروف اللاهوائية تحت تجمعـات هذه البكتريا توفر خلية اختلاف التهوية مع معظم سائل الإليكتروليت بما ينتج عنه التآكل السريع أسفل هذه التجمعات البكتيرية. العامل الثانى لحدوث التآكل فى

غيبة الأكسجين هو قدرة هذه البكتريا على اختزال أيونات الكبريتات إلـى كبريتيـد الهيدروجين. كبريتيد الهيدروجين يتفاعل مع الحديد فى المحلول مكوناً رواسب وقشـور

من كبريتيد الحديد (FeS). قشور كبريتيد الحديد كاثودية بالنسبة للصلب بما يسبب تآكل المناطق الخالية من تراكم هذه القشور، وبالتالى إضافة حديد آخر إلي المحلول... الخ.

5- التغيرات الطبيعية :

أ- درجة الحرارة: مثل كل التفاعلات الكيماوية فإن معدل التآكل يزداد بارتفاع درجة الحرارة. ولكن مثل كل القوانين ، فإن ذلك له استثناءات كثيرة فمثلاً فى حالة التعرض للهواء فإن معدل التآكل يزداد أولاً ثم يقل مع ارتفاع درجة الحرارة. وهذا يرجع إلى أن إذابة الغازات المذابة تقل مع ارتفاع درجة الحرارة. مع زيادة سخونة المحلول تحاول الغازات المذابة الخروج من المحلول ، بما يقلل من عدوانية الماء. لذلك فإن عدوانية الماء قد تزداد أولاً بسبب الزيادة فى درجة الحرارة ثم تبدأ فى الانخفاض عند اقتراب الماء من درجة حرارة الغليان بسبب انخفاض تركيزات الغازات المذابة. فى النظام المغلق معدلات التآكل لا تنطبق على تلك الظاهرة، ذلك لأن ضغط النظام المغلق يمنع هروب الغازات من المحلول. عندئذ فإن معدلات التآكل تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة كما هو متوقع فى النظام المغلق.

ب- **الضغط:** الضغط يؤثر على معدلات التفاعلات الكيماوية، وكذلك فإن تفاعلات التآكل ليست استثناءاً. فى نظم مجال البترول، الأهمية الأولى للضغط هو تأثيره على الغازات المذابة. وهذا بالتالى يزيد من عدوانية المحلول.

جـ- **السرعة:** السوائل الآسنة أو ذات السرعة المنخفضة يكون معدل حدوث التآكل منخفض ولكن من المحتمل حدوث التآكل الثقبى. معدلات التآكل عموماً تزداد بزيادة السرعة، ولكن السرعات العالية و/أو وجود المواد الصلبة العالقة أو فقاعات الغاز يمكن أن يؤدى إلى التآكل بالبرى (Erosion) أو التآكل بالاصطدام (Impingement) أو التآكل الكهفى (Gavitation).

6- أشكال أو أنواع التآكل: (Forms of Corrosion) :

تلف المعادن يسبب التآكل له عدة أشكال. الفقد المنتظم للمعدن هو أحد أشكال التآكل العام، ولكن فى عمليات الإنتاج والتصنيع للبترول فإن تآكل المعدن يكون غالباً فى شكل

تآكل موضعى فى شكل حفر أو فى شكل مساحات موضعية كبيرة. هذا بالإضافة إلى أن المعدن يتشقق بسبب التآكل بدون فقد ملحوظ فى المعدن ورغم أن بعض أشكال التآكل ليست موجود فى مجال الصناعات البترولية ولكن سوف يتم تناولها بغرض تكملة تناول الموضوع.

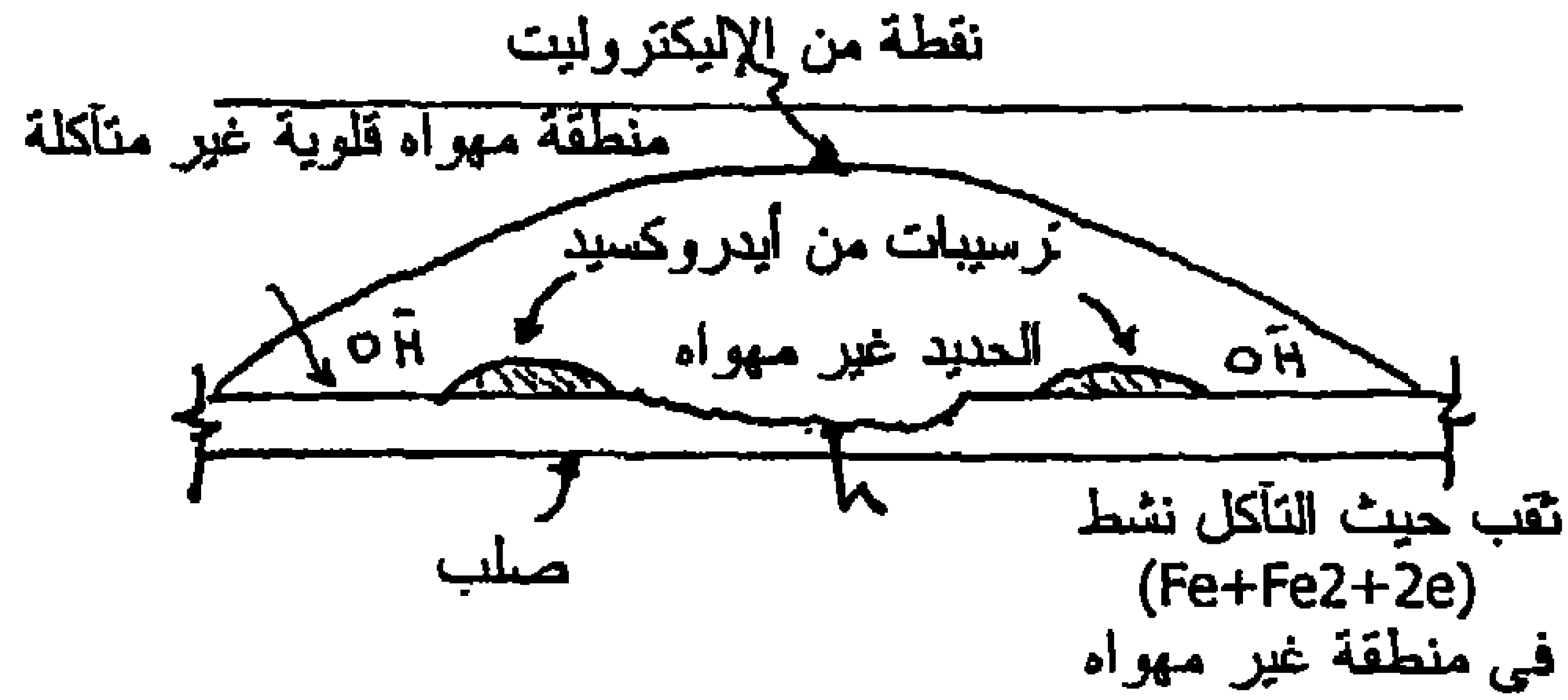
أ- التآكل الثقبى **Pitting** :

التآكل الثقبى هو حدوث التآكل فى أماكن محددة وليس على كل سطح المعدن، وكذلك تكون القوة الدافعة الكلية للتآكل مركزة فى هذه المساحات الموضعية، كذلك فإن مُعدل التآكل عند المساحة التى يحدث فيها التآكل ستكون أكبر عدة مرات عن متوسط معدل التآكل على كل سطح المعدن. الثقوب الناتجة قد تكون كبيرة وضحلة أو صغيرة وعميقة. قياس قسوة وخطورة التآكل الثقبى هو نسبة أعمق اختراق للمعدن فى المساحات الموضعية إلى متوسط اختراق المعدن محسوباً بالفقد الكلى للوزن. التآكل الثقبى أكثر خطورة عن التآكل العام ذلك لأن المساحات المثقبة يمكن أن تحدث بها الثوب فى زمن قصير.

(1) خلايا التركيز (Conecntration Cells) :

من الناحية النظرية توجد أسباب كثيرة للتآكل الثقبى للمعادن والسبائك. كلها تتركز حول الاختلافات الموضعية فى المعدن أو فى الإليكتروليت الملتصق بالمعدن. الاختلاف الموضعى فى تركيز الإليكتروليت يعرف بخلايا التركيز. وطبقاً لوضع معين فإن خلايا التركيز يمكن تسميتها خلايا اختلاف التهوية، خلايا أيون المعدن (Metal – Ion Cells) ، شقوق الترسيب (Daposit Crack) أو التآكل الحفرى (Crevice Corrosion).

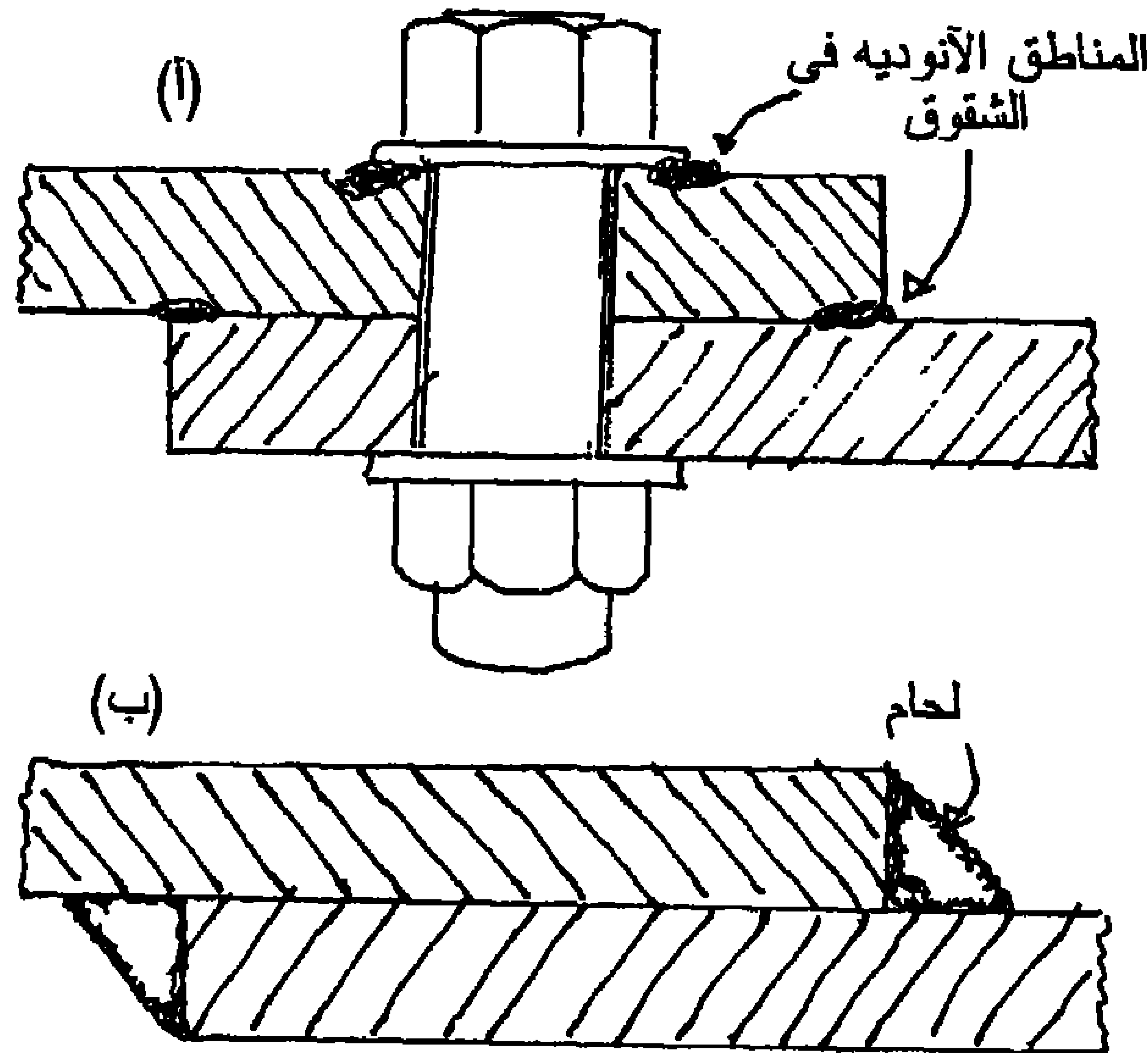
الشكل (1/8) مقطع لخلية اختلاف التهوية . الأمثلة لخلايا التركيز كالآتى:



شكل (1/8) مخطط تفاعلات خلية تهوية . أطراف نقطة الإليكتروليت ذات محتوى عالى من الأكسجين بينما المنتصف منخفض من الأكسجين

(أ) التآكل الفجوى أو الصدعى (Crevice Corrosion) :

الفجوات أو الشقوق تساعد على تكوين خلايا التركيز. وهذا قد يشكل خطورة فى النظم المهواة حيث الأكسجين فى الصدع أو الشق يمكن أن يستهلك بسرعة أكبر من عودة تسرب أكسجين إلى الصدع أو الشق. هذا يعمل على خفض الرقم الهيدروجينى فى الشق، حيث يكون المجال أكثر حموضة والذى يعجل من التآكل ويزيد من اختلاف الأكسجين . (شكل 1/9) يوضح أحد حالات هذا التآكل.



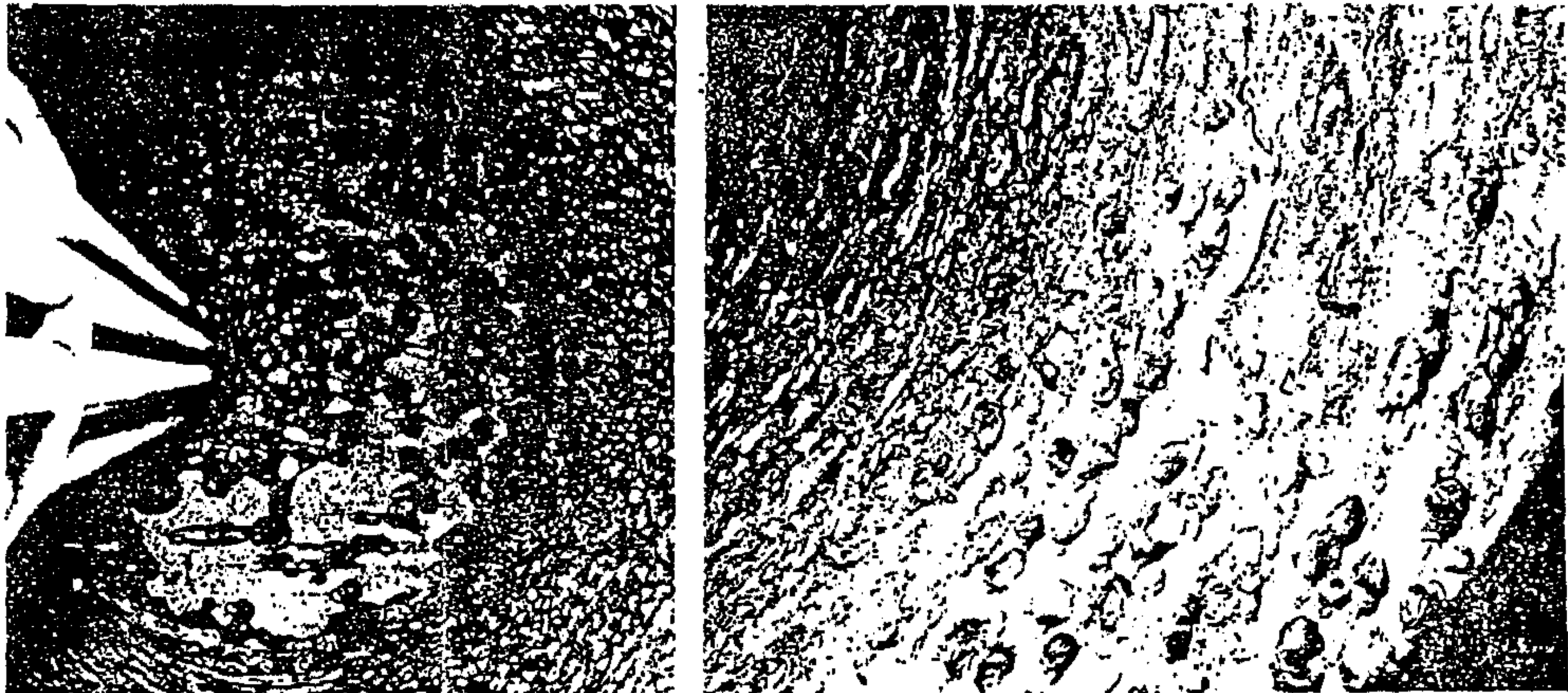
شكل (1/9) مثال للتآكل الفجوى عند وصلة الرباط (أ). الشكل (ب) اللحام للوصلة لتجنب التآكل

(ب) درنات الاكسجين : (Oxygen Tubercels) :

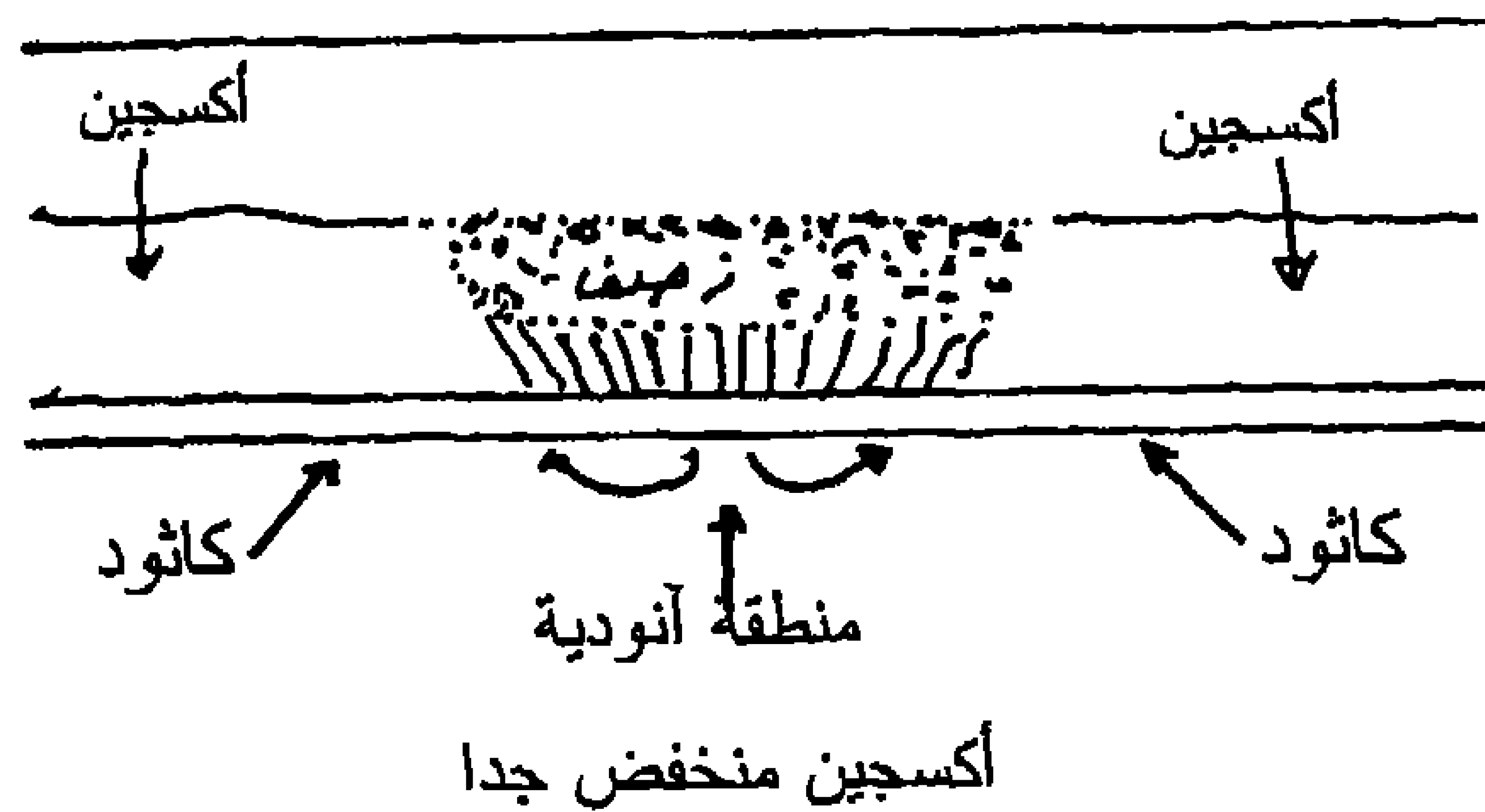
درنات الأكسجين هى أحد أشكال التآكل الثقبى والتى تكون نتيجة نفس نـوع آليـة التآكل الفجوى. وهذه يتم تنشيطها من خلال تكون طبقة مسامية من أيدروكسـيد الحديـد والتى تحمى جزئياً سطح الصلب، حيث يحدث التآكل فى المسـاحات التـى لا يصـلها الأكسجين بسبب اختلاف تركيزه وكذلك بسبب نمو وتكاثر البكتريا. شكل (1/10).

(جـ) خلايا اختلاف التهوية: (Differential Aeration Cells) :

تعتبر منطقة التقابل بين الماء والهواء هى كمثال لخلية اختلاف التهويـة. ذلـك لأن الماء على السطح يحتوى على أكسجين أكثر عن الماء قليلاً تحت السطح . هذا الاختلاف فى التركيز يمكن أن يسبب تآكل أسفل سطح الماء مباشرة. مثال آخر عنـد دفـن خـط المواسير فى التربة المحتوية على كميات مختلفة من الأكسجين عند مناطق معينة علـى طول الخط. فى هذه الظروف، تكون الماسورة فى التربة المهواة جيداً تعمـل ككـاثود، والماسورة فى التربة ضعيفة التهوية ستكون هى الآنود وتتآكل. فى الشكل (1/11) نجـد الماسورة أسفل طريق مرصوف والتى تلتصق بتربة ذات إمدادات محددة من الأكسـجين ومقارنتها بماسورة على كلا جانبى الطريق حيث التربة غير مغطاة بطبقة رصـف بمـا يوفر الأكسجين لذلك فإن التآكل أسفل الرصف يمكن أن يكون حاداً.



شكل (1/10) مثال لدرنات نواتج التآكل المؤكسدة



شكل (1/11) مثال خلية تركيز الأكسجين التى تؤثر على خط المواسير كما هو موضح حيث يتأثر التآكل يتحرك من المنطقة الأنودية إلى المنطقة الكاثودية

د- القشور والرواسب (Scales and Sludges):

ترسيب أى مواد صلبة على سطح المعدن حيث تكون هذه الترسيبات غير محكمة الالتصاق وغير مسامية للحماية الكاملة لسطح المعدن يمكن أن تسبب زيادة التآكل أسفل الرواسب بسبب اختلاف التركيز. حتى أن القشور (Scales) المحكمة الالتصاق يمكن أن تسبب مشاكل فى حالة تكوينها فى أماكن منتشرة وليست بانتظام على سطح المعدن. تنشط البكتريا المختزلة للكبريتات فى حالة عدم توفر الأكسجين أسفل هذه الترسبات والقشور، حيث تنتج كبريتيد الهيدروجين بما يسبب حدوث التآكل الثقبى الموضعى.

هـ- التآكل الثقبى للسبائكل الحديدية :

- الصلب الكربونى (Carbon and Low allyo Steel) :

التآكل الثقبى للصلب الكربونى له أهمية خاصة بالنسبة لإنتاج البترول ذلك لأن معظم معدات إنتاج الزيت مصنوع من الصلب الكربونى ومن سبائك الصلب. التآكل الثقبى مشكلة فى أعمدة المضخات الماصة (Sucker Rods) ، وفى المواسير والقيسونات ، وماسورة الحفر وكذلك بالنسبة للمعدات فى الآبار وتلك التى على السطح.

السبب العادى للتآكل الثقبى فى الصلب الكربونى هو لتكون خلايا موضعية بسبب التلف الجزئى لترسيبات الحماية (Protective Scales) عندما يصبح المعدن الذى يتآكل مغطى بنواتج التآكل و التى تكون كثيفة وملتصقة فأنها تحمى المعدن من عدوانية المجال

الملاصق ويتوقف التآكل. فى حالة الإزالة لقشور ترسيبات الحماية من مناطق موضعية، عندئذ تصبح هذه المساحات آنودية بالنسبة للمناطق أسفل القشور التى لا تزال تحمى المناطق الآنودية تتآكل منتجة تآكل ثقبى. كلا من كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون هما مواد عدوانية التى تسبب التآكل الثقبى فى معدات الصناعات البترولية كذلك فإن الأكسجين هو سبب رئيسى للتآكل الثقبى حتى فى حالة وجوده بكميات صغيرة جداً.

- الصلب المقاوم (Stainless Steels) :

الصلب المقاوم هو الأكثر عرضة من بين كل السبائك الحديدية للتآكل الثقبى ذلك بسبب الصفات الخاصة بعدم الصدأ والتآكل (Stainless) الصلب المقاوم للصدأ يرجع مقاومته للصدأ بسبب تكون طبقة أكسيد رقيقة والقدرة على المحافظة على هذه الطبقة. فى حالة تلف هذه الطبقة فى مناطق معينة ، فإن تلك المساحات تصبح آنودية ويحدث بها ثقوب نتيجة التآكل. الكلوريدات (بالإضافة إلى أنها تسبب تشقق وتآكل بفعل الإجهاد فى الصلب المقاوم الأوستينيت) فأنها مؤثرة فى اختراق طبقة الأكسيد على الصلب المقاوم وتسبب التآكل الثقبى . سبب آخر عادى وهو استهلاك الأكسجين أسفل الترسيبات أو فى المناطق المنخفضة والجيوب (Crevices) وعدم القدرة على توفير الأكسجين. بدون الأكسجين فإن هذه المساحات لا تستطيع المحافظة على استمرار طبقة الأكسيد وبذا تفقد الحماية ضد التآكل. من المهم فى حالة الصلب المقاوم تجنب حالات الركود (الحالات الآسنة) والمحافظة على استمرار معدل التدفق ذلك لتجنب تراكم الرواسب والمخلفات والمحافظة على استمرار توفير الأكسجين لسطح الصلب المقاوم 316 حيث يضاف الموليدنيوم إلى الصلب المقاوم الأوستينيت (Austenite Stainless Steel) عندئذ يحسن ذلك كثيراً من مقاومة التآكل الثقبى.

- **سبائك أخرى :**

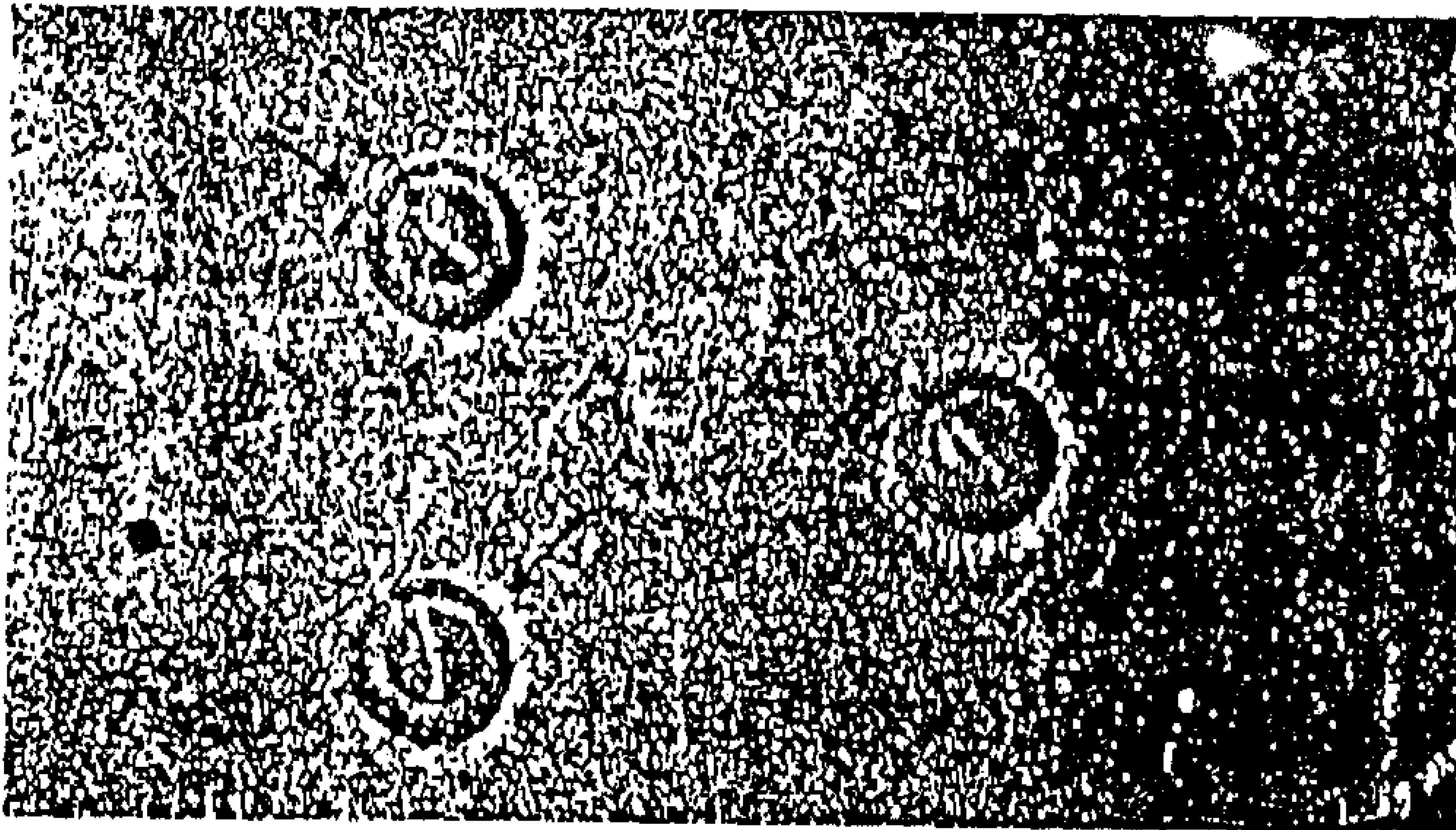
كل السبائك المستخدمة فى مجالات عدوانية معرضة للتآكل الثقبى فى بعض الظروف بعض الأسباب العادية لحدوث التآكل الثقبى هى خلايا التركيز أسفل الترسيبات

وعند الجيوب المنخفضة، التلف أو الكسور لطبقة ترسيبات الحماية ، وكذلك وجود أيونات عدوانية المسببة لفقد المناعة (Loss of Passivity).

(و)– التآكل لاختلاف المعادن الملتصقة (Bimetallic Corrosion) :

عند التصاق معدنين مختلفين فى اليكتروليت محتوياً على عامل مؤكسد، فإن المعدن الأكثر نشاطاً سوف يتآكل والآخر لا يتآكل. وهذا يسمى التصاق المعادن الغير متماثلة فى الجهد شكل (1/12). هذا المبدأ مفيد فى الحماية الكاثودية. عند التصاق الصلب بمعدن أكثر نشاطاً مثل المغنسيوم، فإنه تتم حمايته ولا يتآكل، حيث يصبح الصلب الكاثود والمعدن الأكثر نشاطاً يكون هو الآنود.

أحد القواعد العامة التى توضح تعجيل التلف فى حالة التصاق المعادن الغير متماثلة فى الجهد هو مبدأ المساحة (Area Principle). هذه القاعدة تنص على أن التآكل يتناسب مع المساحة الكاثودية الكلية المعرضة للإليكتروليت العدوانى. إذا كان هناك استعداد واضح لأحد المعادن أن يتآكل على حساب المعدن الآخر، كما فى حالة النحاس فوق الحديد ، كلاهما معرض لمياه مالحة مهواه، فإن المعدن الأقل مقاومة هو الذى يحدث له التآكل (الحديد). لذلك فإن مسامير البرشام من الصلب فى سبيكة النحاس "مونيل Monell" أو فى لوح من النحاس تتآكل بسرعة كبيرة، ولكن مسامير البرشام من سبيكة المونيل فى ألواح الصلب تسبب تلف صغير. التآكل الكلى مقدراً بوزن الفقد فى المعدن يتناسب مع إجمالى المساحة الكاثودية المعرضة.



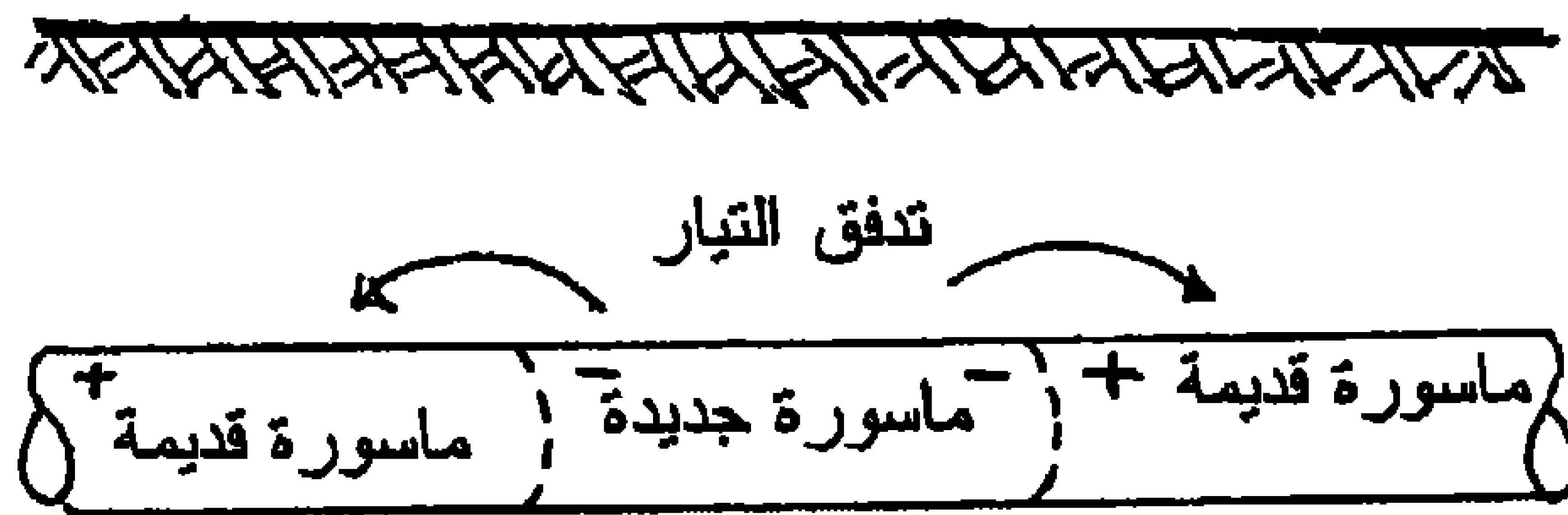
شكل (12) تآكل جلفني بسبب التصاق المعادن الغير متماثله فى الجهد
حيث يظهر التآكل على معدن الأساس المجاور لمسمار الرباط

يجب استخدام مبدأ المساحة هذا مع بعض الحذر. ممثلاً، سلك النحاس يمكن أن يلتصق مع لوح من الألومنيوم فى خزان مياه راكدة . بعد برهة ، النحاس سوف يترسب على معظم سطح الألومنيوم، عندئذ فإن مساحة النحاس سوف تكون أكبر كثيراً عما توضحه نظرة عرضية.

فى حالة التصاق المعادن الغير متماثلة فى اليكتروليت متعادل وغير مهوى فإنه ليس بالضرورة حدوث تآكل ، حيث يلزم مؤكسد مثل الأكسجين لاستمرار التآكل.

يمكن تطبيق مبدأ المساحة للتآكل الثقبى لماسورة الصلب. عند خروج الماسورة من ورشة تصنيع الصلب فإنها تكون مغطاة بطبقة من القشور (Scale). هذه القشور موصل ضعيف للكهرباء وفى نفس الوقت لا تذوب فى الماء أو فى الأحماض الضعيفة. هذا يعنى أن المساحة المغطاة بقشور . التصنيع تكون محمية وتعمل على تركيز التآكل حيث لا توجد هذه القشور . بعد فترة هذه القشور سوف تتفكك وبالتالى فإن تعجيل التآكل هام فقط فى المراحل العمرية الأولى للماسورة.

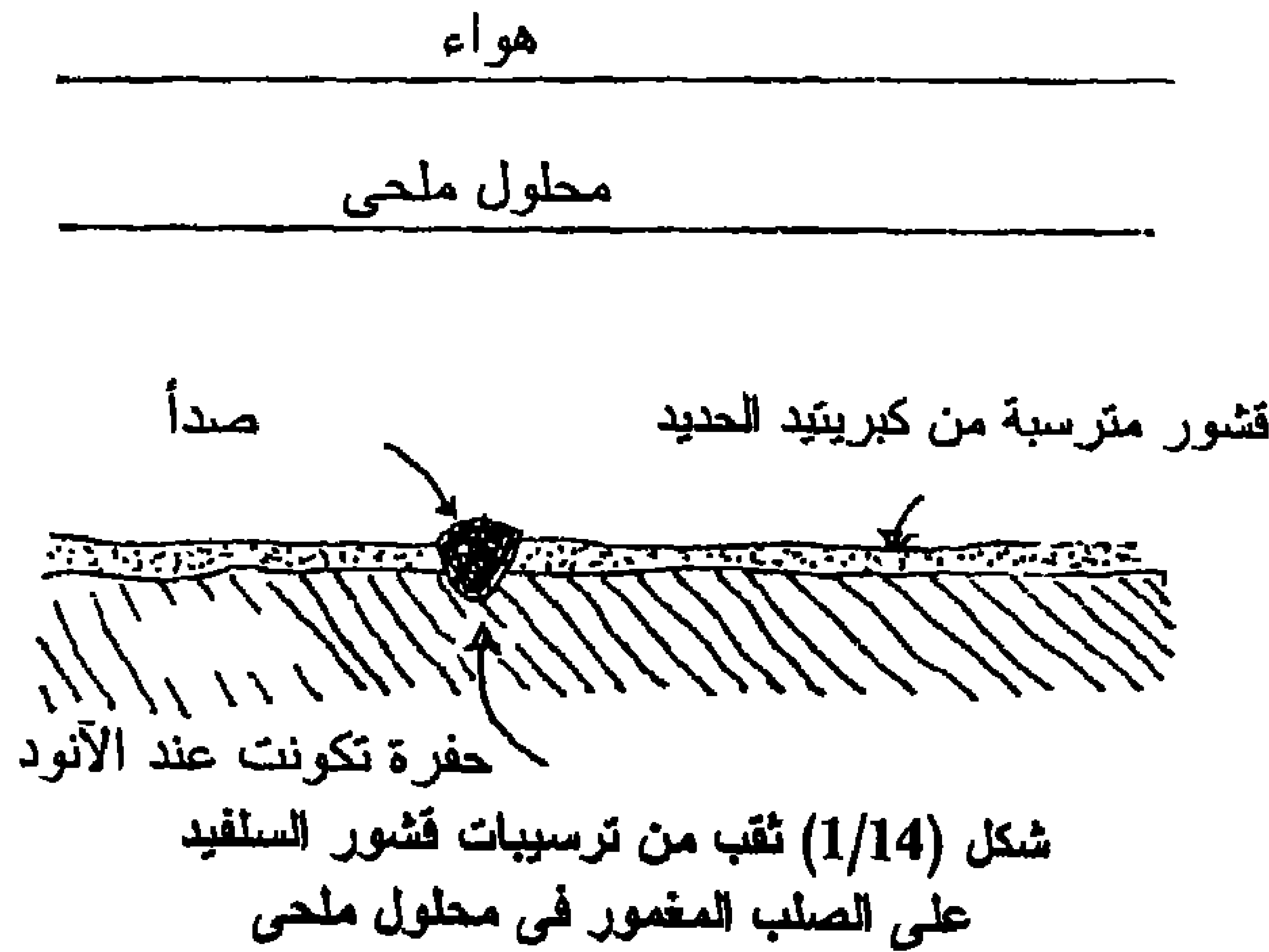
المواسير الجديدة فى خط مواسير قديم يحدث لها تآكل ذلك لأن الماسورة القديمة تكون مغطاة بطبقة كثيفة من الأكسيد والصدأ والتى تكون كاثودية بالنسبة للماسورة الجديدة.



شكل (1/13) التآكل الكهروكيميائى لماسورة جديدة متصلة بماسورة قديمة

كثير من التآكل الثقبى لماسورة الصلب المعرضة للماء يكون بسبب وجود قشور على السطح. كبريتيد الحديد (FeS) على سطح الصلب فى أجزاء مختلفة من معدات بئر زيت البترول تسبب تآكل مشابة. هذا التاثير موضح فى الشكل (1/14).

عند لحام معدن، فإن عملية اللحام ينتج عنها معالجة حرارية موضعية، حيث يوجد مكونات بنائية ميكرونية (Microstructure) قرب اللحام والتى تختلف عن مكونات معدن الأساس. المساحتين لهما استعداد مختلف للتآكل عندئذ يمكن حدوث تآكل لخط اللحام (Weldline)؟



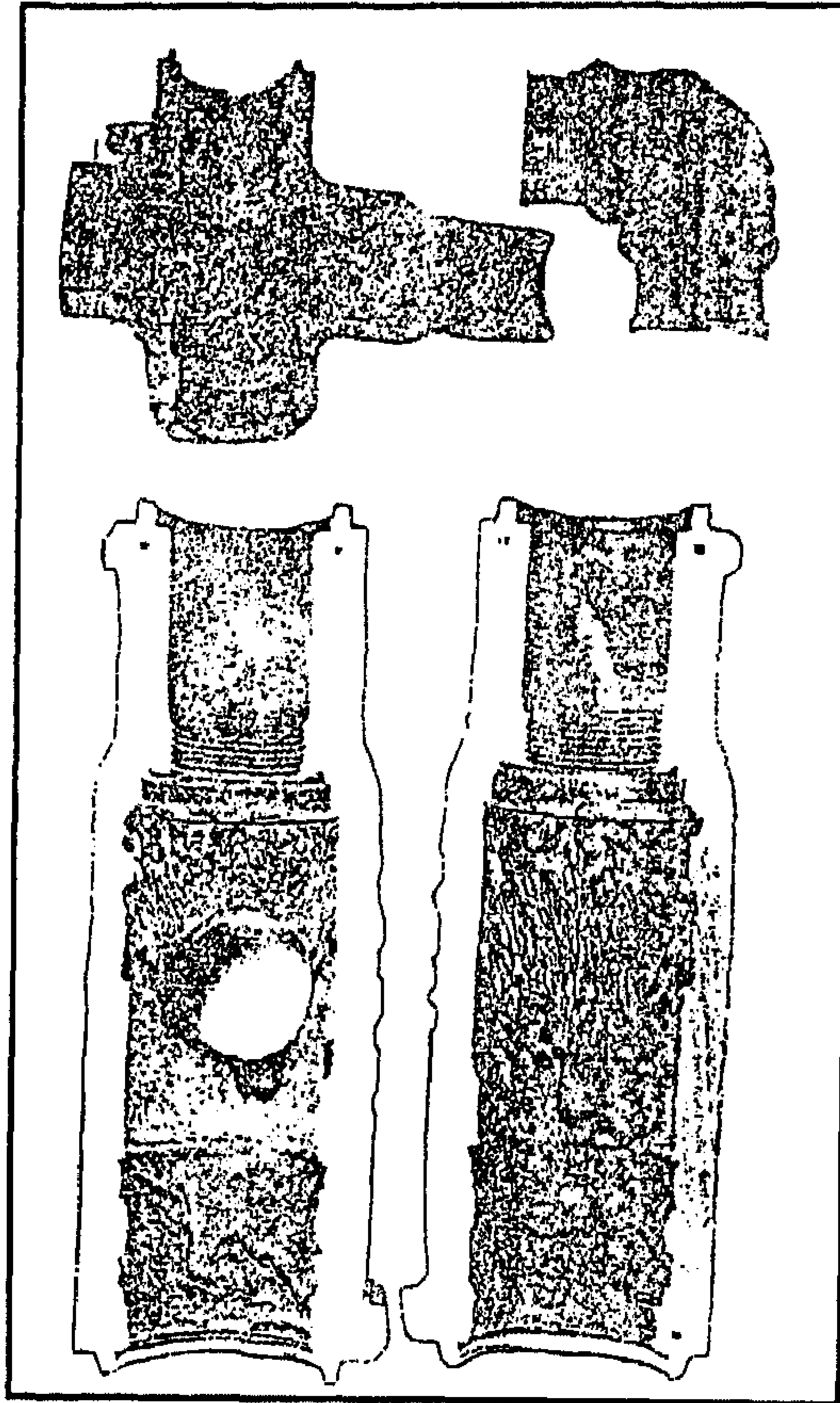
شكل (1/14) ثقب من ترسيبات قشور السلفيد على الصلب المغمور فى محلول ملحى

أحياناً يوجد نوع آخر من التآكل فى مواسير آبار البترول أو الغاز (عملياً المحتوية على محتوى عالى من ثانى أكسيد الكربون فى المجال الغازى) والمعروف بتآكل بالدودة الحلقية (Ring Worm). طبقاً للتسمية فإن التآكل يحدث فى حلقة عدة بوصات من التطريق أو الفلطحه (Upset). هذا التآكل يمكن أن يأخذ شكل التآكل الناعم جداً أو التآكل الثقبى الحاد قرب منطقة التطريق. السبب فى التآكل فى شكل الدودة الحلقية يرجع إلى عملية التطريق. الحرارة اللازمة للفلطحة بالتطريق تسبب وجود بقاء مختلف للحبيبات فى النهاية التى تم تطريقها عن باقى الماسورة. منطقة الانتقال للبناء الجيلبى (Grain Structure) قرب مسار التطريق تكون عادة حساسة للتآكل. هذه الحالة يمكن التغلب عليها بالتطبيع الحرارى (Normalizing) التام للماسورة بعد التطريق. التطبيع الحرارى هو أحد أشكال المعالجة الحرارية الذى يوفر التجانس للتركيب الحبيبى للمعدن.

(د)- التآكل بالاحتكاك أو الاصطدام : :

نظراً لأن معظم المعادن تكتسب مقاومتها للتآكل بسبب تكون طبقة حماية من الأكسيد واستمرارها، فإن إزالة هذه القشور من أملاح المعدن فى أماكن موضعية يؤدى إلى التآكل السريع. التدفقات السريعة أو التدفقات المضطربة يسبب أحياناً الإزالة لقشور الحماية حيث يتعرض جسم المعدن والذى يمكن أن يتآكل. هذا الجمع بين إزالة قشور الترسيبات بالاحتكاك وتآكل المعدن أسفل هذه الترسبات يسمى التآكل بالاحتكاك وهو من الأسباب العادية فى تلف معدات حقول البترول. الصلب الكربونى والصلب منخفض السبائكية (Low Allyo Steel) هما بالتحديد عرضة للمجالات التى تكون القشور من أملاح المعدن مثل أملاح كربونات الحديد التى تزال بسهولة. هذه الإزالة وبالتالى حدوث التآكل غالباً ما يكون فى مناطق معينة مثل التغيرات فى المقاطع أو الوصلات حيث يوجد اضطراب فى التدفقات أو عند الانحناءات والأكواع شكل (1/15).

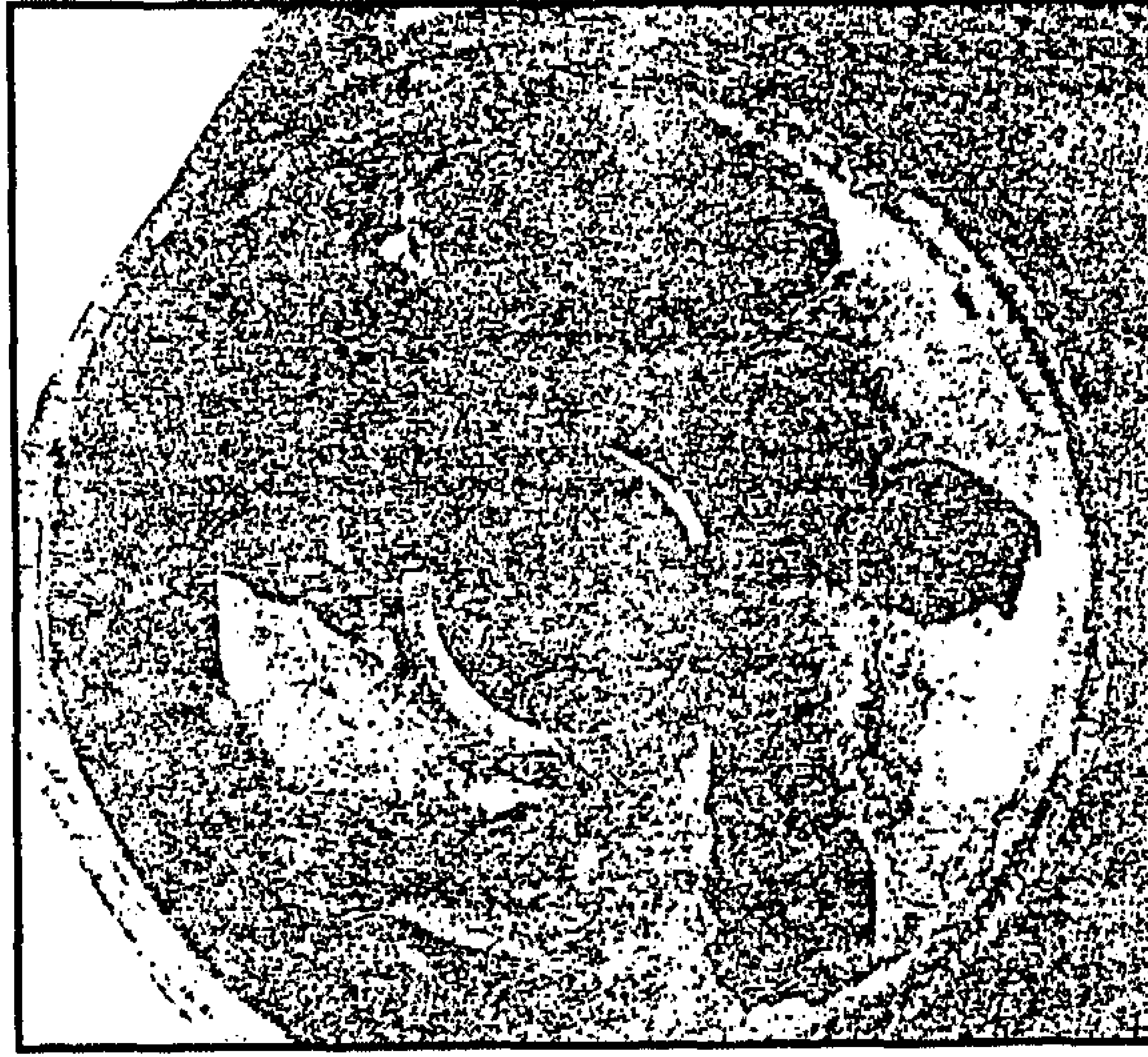
الظاهرة التى تشبه التآكل بالاحتكاك ولكنها أكثر موضعية وهى ما تعرف بالاصطدام (Impingement). يحدث هذا عند اصطدام تيار التدفق على سطح المعدن ويتلف طبقات الحماية فى أماكن صغيرة جداً نتيجة هذا الاصطدام هو تكون حفر طولى أو قطع أسفل التيار. يكون هذا الاصطدام عادة نتيجة الاضطراب الذى يحيط بالحبيبات الصغيرة الملتصقة بسطح المعدن. هذه المشكلة ظاهرة عملياً فى سبائك النحاس والسبائك ذات الأساس من النحاس. الصلب المقاوم الأوستينيت له مقاومة لكل من عدوانية الاحتكاك والأصطدام.



شكل (1/15) تآكل بالاحتكاك حيث يوجد الاضطراب
أو حيث التغير الحاد فى الاتجاه حيث تتآكل الترسيبات المزالة بسهولة

(ز) التكهف (Cavitation) :

التكهف هو تكون وتصادم فقاعات البخار فى السوائل (مثل الماء) ذلك بسبب التغيرات السريعة فى الضغط. يمكن أن يحدث ذلك عندما يقل الضغط الكلى فى نقطة ما فى مسار التدفق للسائل إلى ضغط البخار للسائل حيث تتكون الفقاعات، حيث يلى ذلك ارتفاع سريع فى الضغط بما ينتج عنه ارتطام الفقاعات. التلف بالتكهف (Cavitation Damage) هو البلى والحث (Wearing) للمعدن الناتج عن ضربات التصادم المتكررة من الفقاعات فى السائل. عادة يلعب التآكل دور بسيط فى معدل التلف بالتكهف. تحدث هذه الظاهرة فى دافع الطلمبة (Impeller) بسبب تصادم الفقاعات فى السائل على سطح الدافع شكل (1/16).



شكل (1/16) التآكل الكهفى الحاد لدافع الطلمبة
بسبب اصطدام فقاعات السائل على سطح المعدن

(ح) التآكل البينى للحبيبات : (Intergranular Corrosion) :

التآكل البينى للحبيبات هو التآكل الذى يحدث بين الحبيبات (عادة هناك خلط ما بين التآكل البينى للحبيبات والتآكل والتشقق بالأجهاد (Stress Corrosion Cracking)، ولكن التآكل البينى للحبيبات يمكن أن يحدث فى عدم وجود إجهادات، بينما التآكل والتشقق بالإجهاد يحدث فقط عندما يكون المعدن تحت الإجهاد). التآكل البينى للحبيبات حدث فى كثير من السبائك بما فيها الصلب المقاوم الأوستينيت وسبائك النحاس والألومنيوم والنيكل. فى معظم الحالات يكون التآكل البينى للحبيبات نتيجة البناء الميتاليرجى الذى يسبب أن تكون الفواصل البينية للحبيبات ذات قابلية للتآكل أكثر من الحبيبات نفسها . المعالجة الحرارية المناسبة أو ضبط المكونات الكيماوية للصلب يمكن أن يقلل من تعرض مكونات الفواصل البينية للحبيبات حيث تصبح السبيكة مقاومة لهذا النوع من التآكل.

أهم ظاهرة لحدوث هذا التآكل هى فى الصلب المقاوم الأوستينيت حيث عند استمرار هذا الصلب أو بتبريده ببطء فى مجال درجة حرارة ما بين 821°م إلى 427°م، فإن كربيد الكروم يرسب فى الفواصل البينية للحبيبات ويصبح الصلب ذو حساسية (Sensitized). تعرض هذا الصلب الحساس للمحاليل الغير عدوانية مثل الأحماض

الضعيفة ينتج عنه تآكل بينى للحبيبات الجدول (1/2) يوضح المواد العدوانية التى تسبب التآكل البينى للحبيبات فى الصلب المقاوم الأوستينيت الحساس.

جدول (2/ 1) بعض المواد العدوانية المسببة للتآكل البينى للحبيبات فى الصلب المقاوم الأوستينيت:

الصودا الكاوية	درجة الحرارة المرتفعة
كبريتات النحاس	المياه عالية النقاء
كبريتات الألومنيوم	حامض النيتريك
حامض الهيدروكلوريك	حامض الأوكزاليك
حامض الهيدروفلوريك	مياه البحر
كبريتيد الهيدروجين	الصوديوم
ليثيوم	حامض الكبريتيك
أكسيد السيريوم	حامض بولى ثيونيك

توجد نظريات متعددة بسبب حساسية صلب الأوستينيت المقاوم ، من بين هذه النظريات أن ترسيب كربيدات الكروم يستنفذ المساحات المجاورة مباشرة لحدود حبيبات الكروم. هذه المناطق المستنفذة تصبح أنودية بالنسبة للحبيبات حيث تتآكل.

الحساسية أصعب مشكلة عند لحام الصلب المقاوم أو عند تعرضه لدرجة حرارة ما بين 427 إلى 821ْم. لمنع هذا التآكل البينى للحبيبات تستخدم طريقتين وهما المعالجة الحرارة والتحكم فى المكونات الكيماوية.

الصلب المقاوم يمكن تطبيعه بالمعالجة الحرارة ما بين 1066 – 1121ْم ثم التبريد السريع ، والذى لا يسمح بوقت الترسيب. معالجة أخرى هى استمرار الصلب عند درجة حرارة ما بين 871 إلى 899ْم لعدة ساعات، حيث يوفر ذلك انتشار الكروم من حدود الحبيبات والعودة إلى المناطق المستنفذة.

يمكن التحكم فى ترسيب الكربيدات (Carbides) بطريقتين الأولى هو باستخدام الصلب المقاوم بنسبة منخفضة جداً من الكربون (أقل من 0.03%) حتى لا يتوفر

الكربون الكافى للاتحاد مع الكروم. الطريقة الثانية هى بإضافة أما التيتانيوم أو النيوبيوم (Niobium) ، كلاهما ستكون قابليته للاتحاد مع الكربون أعلا من الكروم ينتج عن ذلك ترسيب لكربيد الكولومبيوم أو التيتاينوم كربيد، وليس كربيدات الكروم. الطريقة الأفضل تتوقف على التطبيقات المعينة.

(ط) التلف بفعل ايلاج الهيدروجين: (Hydorgan Induced failure) :

ذرات الهيدروجين يمكن إنتاجها على سطح المعدن فى المجال المائى بواسطة تفاعل التآكل ، الحماية الكاثودية، الطلاء بالمعادن (electroplating) ، أو النظافة لسطح المعدن بالحامض (Acid Pickling). بعض من ذرات الهيدروجين تتحد لتكون هيدروجين جزئيى غازى (H_2) على سطح المعدن وتنطلق فى الهواء. بعض من هذه الذرات يمتص بواسطة المعدن، وهذا الدخول لذرات الهيدروجين فى المعدن يمكن أن يكون له تأثيرات ضارة، مثل التشقق، أو التبثر أو التقرح (Blistering) ، تكون الميثان عند درجة حرارة أعلا من 204ْم، والقصافة الهيدروجينية (Hydrogen Embrittlement).

مواد معينة مثل أيون السلفيد (Sulfide Ions) ، الفوسفور ومركبات الزرنيخ تعمل كعامل وسيط فى ادخال الهيدروجين فى المعدن. فى وجود هذه المواد، يوجد تركيز أعلا لذرة الهيدروجين فى المعدن واحتمالات تأثيرات الهيدروجين تزداد بشكل ملحوظ.

(1) التبثر بالهيدروجين (Hydrogen Blistering) :

دخول الهيدروجين فى الصلب منخفض السبائكية يمكن أن ينتج عنه البثور الهيدروجينية فى حالة وجود عيوب ميكروسكوبية فى الصلب مثل التطابق أو الفجوات (lamination or Inclusion). أى ثقب فى الصلب يوفر مكان لذرات الهيدروجين لكى تتحد لتكون غاز الهيدروجين. عند تكون جزئ الهيدروجين الغازى حيث يصبح حجمه كبير بما يحد من خروجه ثانياً من الصلب ويزداد الضغط مع زيادة جزئيات غاز الهيدروجين حيث يحدث تبثر (Blistering) . فى عمليات إنتاج البترول ، التبثر الهيدروجين مشكلة أساسية فى المجال نادراً ما تسبب تلف بفعل القصافة، ولكن يمكن أن تسبب كسر وتسرب. أفضل وقاية هى باستخدام صلب نظيف أو مقاومة عملية التآكل.

(2) القصافة الهيدروجينية (Hydrogen Embrittlement) :

دخول الهيدروجين فى الصلب شديد القوة (High Strong Steels) يمكن أن ينتج عنه قصافة هيدروجينية. فى مثل هذه الحالة فإن المادة يمكن أن تنهار فى شكل قصافة (هشاشة) عند إجهادات أقل كثيراً من جهد الخضوع (Yield Strength). استثناء هذه الظاهرة للمواد عالية القوة قد يكون بسبب أنه فقط فى مثل هذه المواد يمكن ارتفاع جهود الشد إلى حد تنشيط آلية الوصول إلى هذا الوضع. الهيدروجين الذى يؤدى إلى الهشاشة يمكن أن يحتجز أثناء صب المعدن المنصهر، ويمتص أثناء عمليات الطلاء المعدنى أو نظافة المعدن بالحامض أو نتيجة تفاعل التآكل. فى حالة وجود المعدن تحت إجهاد الشد العالى يمكن أن يحدث تلف القصافة (Brittle – Failure). ممر التلف يمكن أن يكون ما بين الحبيبات (Intergranular) أو عبر الحبيبات (Trans granuler) ومن الصعب عادة التمييز للتلف الناتج عن القصافة الهيدروجينية، التآكل والتشقق بالإجهاد. يحدث التلف الناتج عن القصافة الهيدروجينة فقط مع الصلب عالى الإجهاد، ذلك الصلب حيث إجهاد الخضوع...9 رطل/ البوصة المربعة أو أكثر. الحساسية للقصافة الهيدروجينية تزداد بزيادة القوة والصلابة.

التلف بفعل القصافة الهيدرجينية لا يحدث دائماً فوراً بعد استخدام الأحمال أو التعرض لمجال منتج للهيدروجين. عادة توجد فترة زمنية حيث لا يلاحظ أى تلف، يليها تلف مفاجئ وخطير. هذه الظاهرة تسمى التلف المتأخر. الفترة الزمنية قبل حدوث التلف هى فترة الحضانة (Inoculbation) أثناء تسرب الهيدروجين إلى النقط ذات الإجهاد ثلاثى المحور (Triaxial). الفترة الزمنية لحدوث التلف تقل بزيادة كمية الهيدروجين الممتصة ، إجهاد الضغط المسلط ، مستوى قوة المادة.

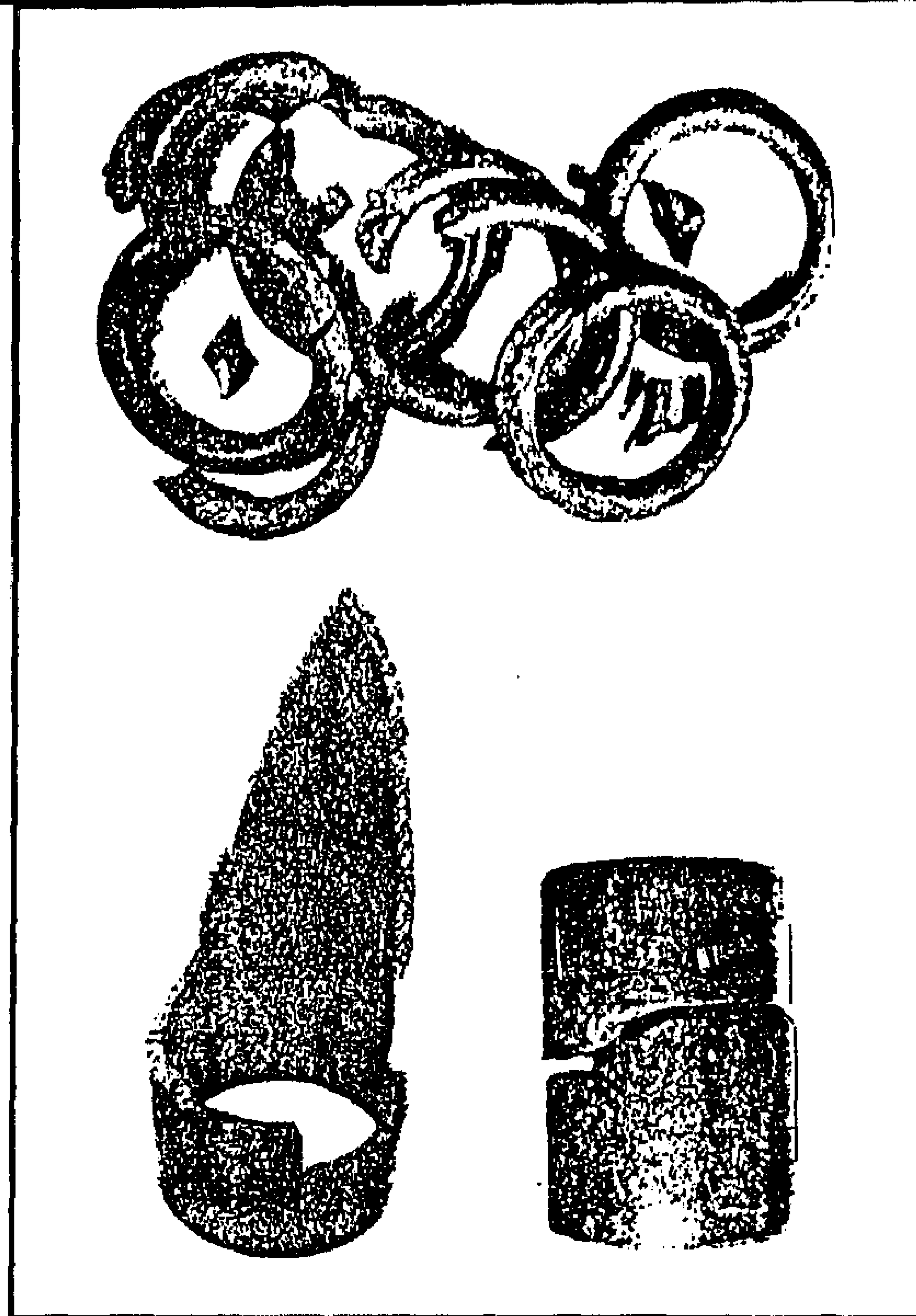
لحين التشقق الحقيقى للصلب المحتوى على الهيدروجين، لا يوجد تلف مستمر. فى كثير من الحالات يمكن تحميص (Baked) الهيدروجين وطرده بالمعالجة الحرارية المناسبة، حيث يمكن استعادة الخواص الأولية للصلب. يحدث ذلك عادة بعد عمليات الطلاء الكهربى (Electroplating) لأجزاء الصلب عالى القوة.

(3) التشقق الكبريتى بالإجهاد (SSC-Sulfide Stress Cracking)

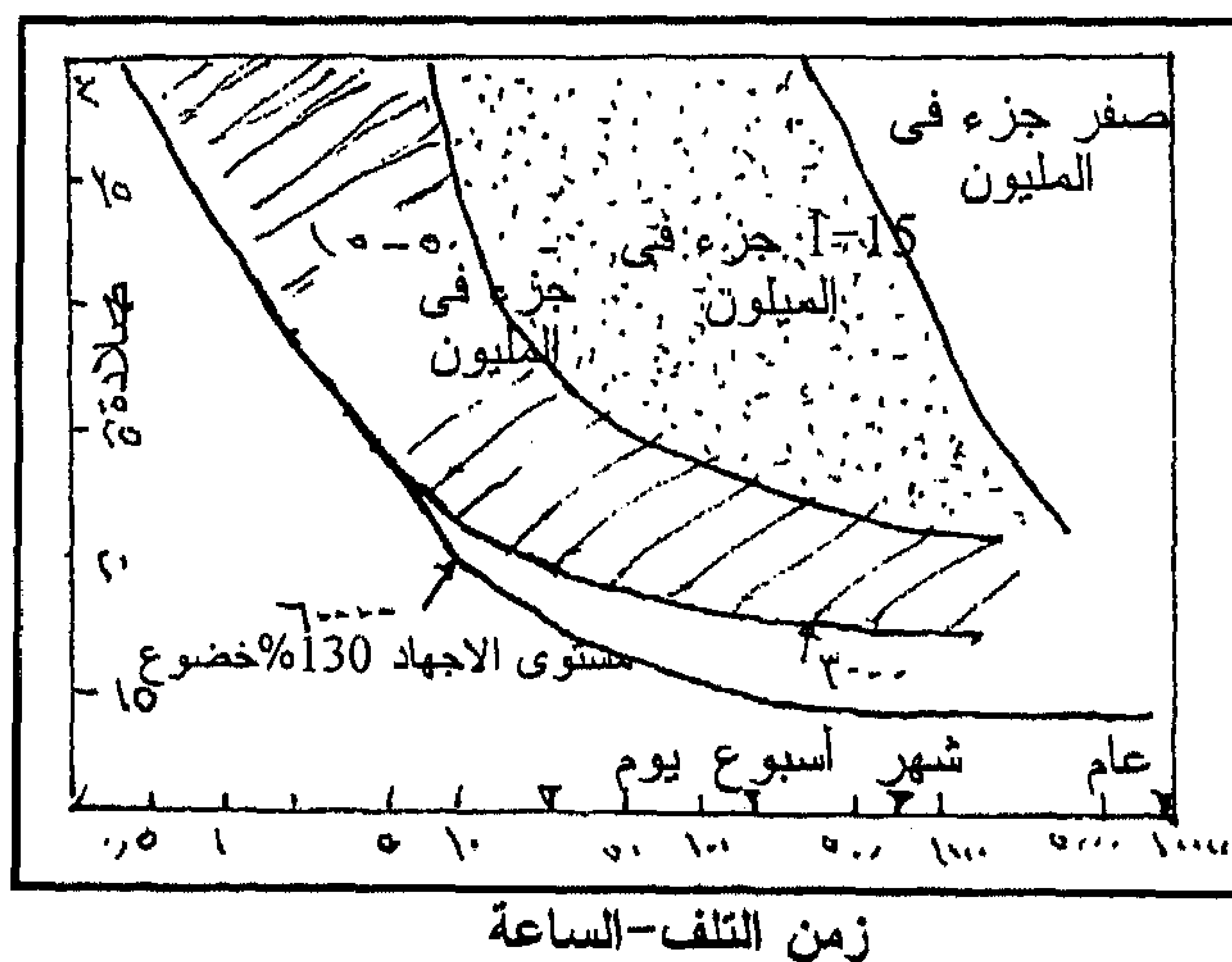
التلف الفورى بالقصافة الذى يحدث فى الصلب والسبائك الأخرى عالية القوة عند التعرض لكبريتيد الهيدروجين (H_2S) الرطب والمجالات الكبريتية الأخرى. يجب توفير الظروف الآتية قبل حدوث التشقق.

يجب وجود كبريتيد الهيدروجين ، أهمية وجود الماء ولو قليل من الرطوبة يكفى، الصلب عالى القوة يجب مساهمته (مستوى القوة يختلف طبقاً للمكونات والبناء المجهرى للصلب) ، أن يكون الصلب تحت إجهاد الشد أو الحمل (الإجهاد يمكن أن يكون مستخدم أو متبقى) . فى حالة وجود كل هذه الظروف ، فإن التشقق الكبريت بالإجهاد يمكن أن يحدث بعد فترة زمنية. من المهم معرفة أن التشقق الكبريتى بالإجهاد عادة لا يحدث فى الحال بعد التعرض للبيئة الحامضية، ولكن يمكن أن يحدث بعد ساعات، أيام أو سنين من الخدمة. حساسية المادة للتلف بهذه الآلية تتحدد أساساً طبقاً للمتغيرات الآتية :

- **القوة أو الصلابة:** الصلب الكربونى بقوة 90000 رطل/البوصة المربعة يعتبر عموماً لا يتأثر (Immune) ومقاوم للتشقق الكبريتى بالإجهاد. وهنا مقابل لصلادة (Hardness) بمقياس (Rickwell) بقيمة (RC22). الصلب بإجهاد خضوع أعلا من ذلك يكون معرض للتشقق. الشكل (1/18) يوضح الفترة الزمنية للتلف بدلالة الصلادة وتركيزات كبريتيد الهيدروجين . فى حالة سباكة الصلب مع مواد أخرى مثل النيكل فإن التلف يمكن أن يحدث عند مستوى صلادة أقل من (RC22). على العكس ، بعض المعالجات الحرارية يمكن أن ترفع منسوب أقصى صلادة مسموح بها أعلا من هذه القيمة.



شكل (17/ 1) مثال للتآكل بالتشقق والإجهاد الكبريتى
زمبرك من الصلب الكربونى (الأعلا)، اليسار تلف الماسورة اليمين تلف الجبلة



زمن التلف-الساعة

شكل (1/18) زمن تقريبى للتلف للصلب الكربونى فى 5%
كلوريد صوديوم ومختلف أجزاء فى المليود من

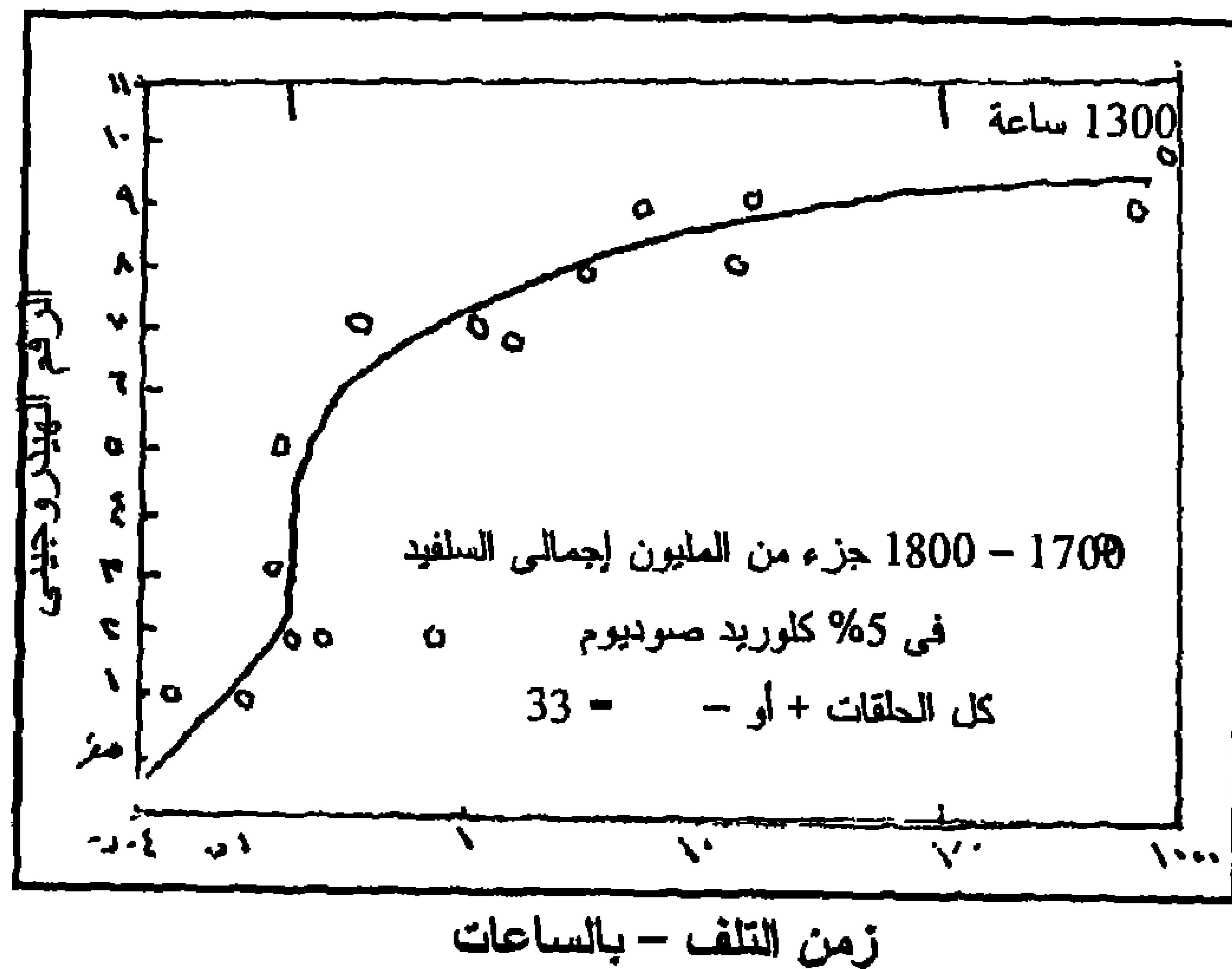
- **مستوى الإجهاد (إما المسلط أو المتبقى):** تقل الفترة الزمنية للتلف مع زيادة مستوى الإجهاد (Stress). فى معظم الحالات يكون الإجهاد نتيجة حمل الشد أو من استخدام الضغط أو كليهما. ولكن الإجهادات المتبقية وكذلك النقط الصلبة (Hard Spots) يمكن إيجادها باللحام أو بالتشغيل على البارد للمادة (الثنى على البارد ، علامات اللوى ومفتاح الربط.. الخ) .
- **تركيز كبريتيد الهيدروجين:** تزداد الفترة الزمنية لحدوث الإنهيار والتلف مع انخفاض تركيز كبريتيد الهيدروجين. تأخير التلف يمكن حدوثه عند تركيزات منخفضة جداً لكبريتيد الهيدروجين فى الماء (0.1 جزء فى المليون) وعند ضغط جزئى منخفض حوالى 0.001 جوى ، رغم أن زمن التلف يمكن أن يصبح طويلاً جداً.
- **الرقم الهيدروجينى للمحلول:** يزداد الاستعداد للتشقق مع انخفاض الرقم الهيدروجينى. الاستعداد للتلف يمكن خفضه كثيراً فى حالة المحافظة على الرقم الهيدروجينى للمحلول عند 9 أى أعلا من 7 أو 8 شكل (1/19).
- **درجة الحرارة :** توجد بيانات توضح أن التعرض للتشقق يقل عند درجة حرارة أعلا من 66ْم.

(3) عدوانية درجة الحرارة المرتفعة : (High Temperature Attack) :

عند درجة حرارة أعلا من 232ْم، فإن الصلب منخفض القوة يمكن أن تحدث له قصافة عند التعرض لغاز الهيدروجين عند درجات الحرارة هذه يتفاعل الهيدروجين مع الكربيدات (Carbides) فى الصلب ليكون غاز الميثان. الميثان يشغل حجم أكبر من كربيد الحديد ولذلك فإنه يسبب تشققات أو فراغات. عندئذ فإن الصلب تصبح قدرته قليلة جداً بالنسبة للتغير فى الشكل بدون تشقق أى أنه يصبح ذو قصافة (Brittle). معدل التسرب يزداد بزيادة الضغط الجزئى للهيدروجين ودرجة الحرارة. منحنيات نيلسون التى تعرف حدود الاستخدام لمختلف أنواع الصلب فى مجال الهيدروجين، توضح أقصى درجة حرارة والضغط الجزئى لكبريتيد الهيدروجين الذى يتحمله نوع معين من الصلب بدون حدوث عدوانية الهيدروجين. الصلب المحتوى على عناصر سبائكية التى تعمل على تثبيت

الكربيدات وتمنع تكون الميثان يكون لها مقاومة لارتفاع درجة الحرارة والضغط الجزئى للهيدروجين أكثر من أنواع الصلب

الغير محتوية على عناصر سبائكية (Alloying – elements) . تزداد المقاومة من الصلب الكربونى الغير محتوى على عناصر سبائكية إلى صلب الكروم وصلب الكروم الموليدنيوم حتى إلى صلب الأوستينيت المقاوم والذى هو لا يتأثر بعدوانية الهيدروجين عند ارتفاع درجة الحرارة ولكن ليس لعدوانية الكلوريد.



زمن التلف – بالساعات

شكل (1/19) التلف للصلب تقل سرعته عند رقم هيدروجين أعلا من 7 أو 8

(4) وهن أو كلال التآكل: (Corrosion Fatigue) :

كلال المعادن هو سبب تلفيات كثيرة مكلفة فى مجال صناعة إنتاج البترول. معظم هذه التلفيات يحدث فى مجال عدوانى مثل المياه المالحة، ولذلك فإنها توصف بالتلف الناتج عن كلال التآكل. لقد عرف كلال التآكل بأنه السبب الرئيسى فى تلف أعمدة المص (Sucker Rods) وأسلاك الحفر لسنين طويلة، وقريباً تم الانتباه نحو التلف الناتج عن كلال التآكل فى المنشآت البحرية .

*** كلال أو وهن المعادن فى الهواء :**

عند تكرار الإجهاد للمعادن بطريقة دورانية (حلقية) فى الهواء، فإنها سوف تتلف فى شكل قصافة (Brittle) عند إجهادات أقل كثيراً من إجهاد الخضوع أو إجهاد الشد (Tield or tensile Strength) ولكن يوجد بالنسبة لبعض المعادن (تحديداً الصلب)، حدود للإجهاد التى دونها يمكن الإجهاد الدورانى للمعدن بلا نهاية بدون حدوث تلف. هذا الإجهاد يسمى حد التحمل (Endurance Limit) وهو دائماً أقل من إجهادات الخضوع أو الشد.

حد التحمل للمعادن الحديدية هو عادة 40 إلى 80% من إجهاد الشد لها، طبقاً للبناء المجهرى والمعالجة الحرارة. الصلب سريع التبريد والتطبيع (أى الإحماء بعد التبريد السريع – Temper) عادة له خواص كلال أفضل عن الصلب الكربونى بطئ التبريد. حيث أن إجهاد الشد للمعادن الحديدية هو تقريباً يتناسب مع الصلابة (Hardness) خلال مجال كبير، فإن حد التحمل هو كذلك يتناسب مع الصلابة خلال هذا المجال.

كلال التشقق عادة يبدأ عند سطح المعدن، وسلوك الكلال يتأثر بظروف السطح. الثقوب أو عدم تجانس المعدن مثل المسامية أو الشوائب، هذه تعمل على رفع الإجهاد، والأجهاد الحقيقى عند قاع الثقب يمكن أن يكون أضعاف الإجهاد المسلط. عمليات المعالجة الحرارية يمكن تزيل الكربون (Decarburize) من سطح جزء المعدن، ويتوقف إجهاد الكلال على قوة هذه الطبقة السطحية ذات المحتوى المنخفض من الكربون.

يتأثر حدوث الكلال كذلك بتاريخ الإجهاد الذى تعرض له هذا الجزء. قبل الإجهاد الحلقى عند إجهاد مرتفع يقلل من عمر الكلال الجزء الذى يتم إعادة إجهاده المنخفض الحلقى، عندما يكون كلا الإجهادين أعلا من حد التحمل قد ينتج عند ذلك تلف كلال قليل أو عدم حدوث تلف نتيجة الإجهاد المسبق الحلقى عند إجهادات منخفضة.

فى الواقع حدوث الكلال يزداد أحياناً بطريقة تعرف بطريقة اتحاد المحور (Coaxil)، حيث العينة المعرضة لعدة إجهادات حلقية مع الزيادة المتتالية فى مستويات الإجهاد، بدأ من بعض الإجهاد أقل من حد التحمل.

كلال (إجهاد) التآكل – تأثير المجال العدوانى على عمر الكلال :

Corrosion fatigue – The Effect of Corrosive Environmenton Fatigue Life:

ينتقص عمر الكلال للمعدن كثيراً عند الإجهاد الحلقى للمعدن فى مجـــال عـــدوانى. الحدوث المتزامن للإجهاد الحلقى والتآكل يسمى كـــلال التآكـــل (Corrosion. Fatigue) لذلك فإن وجود مجال عدوانى يزيد من آلية الكلال ويسرع فى التلف نتيجة التآكل. كذلك تساعد القصـافة الهيدروجينية على تلف الكلال (Fatigue Failure) فى الصلب عالى القوة الخاصية المميزة لكلال التآكل (وهن التآكل) الذى يجب معرفته هو أن المعدن لا يوفر حد التحمل كما يحدث فى الهواء شكل (1/19). حدوث كلال التآكل عادة بخاصية حد الكلال "Fatigue Limit" والذى هو كمية اختيارية معروفة. حدود كلال التآكـــل يعـــرف عـــادة بأقصى قيمة للإجهاد التى عندها لا يحدث تلف بعد 10^7 دورات (Sycels).

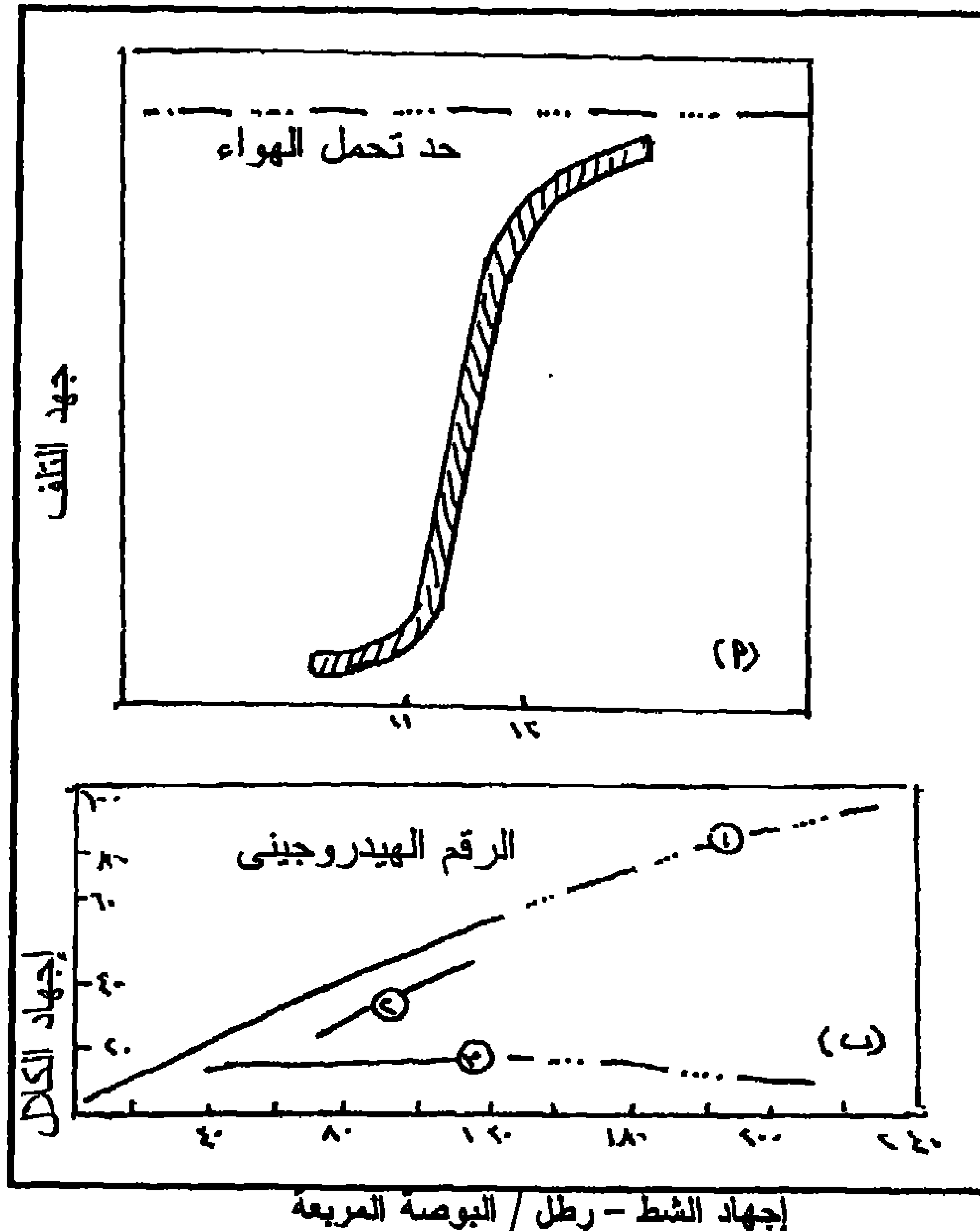
فى كلال التآكل ، عدوانية المجال الملاصق شديد الأهمية. وجود غازات مذابة مثل كبريتيد الهيدروجين، ثانى أكسيد الكربون، أو الأكسجين يسبب زيادة واضحة فى العدوانية وينتج عنه خفض عمر تآكل الكلال جدول (1/2). التآكل الثقبى أو التآكل الموضعى هـــو الأكثر خطورة من وجهة نظر تآكل الكلال ، ولكن قليل من التآكل العام ســيعمل علـــى خفض عمر الكلال بدرجة كبيرة.

جدول (1/2) كلال التآكل للصلب فى الماء المالح

الغاز المذاب	نسبة الخفض % من حد تحمل الهواء
كبريتيد الهيدروجين	20
ثانى أكسيد الكربون	41
ثانى أكسيد الكربون + هواء	41
كبريتيد الهيدروجين + هواء	48
كبريتيد الهيدروجين + ثانى أكسيد الكربون	62
هـــواء	65

القصافة الهيدروجينية يمكن أن تقلل عمر الكلال فى الصلب متوسط القوة فى حالة توقف التسرب الخارجى للهيدروجين أو إذا ظلت العينة مشبعة بالهيدروجين يحدث خفض كبير فى عمر الكلال للصلب عالى القوة نتيجة التقصف الهيدروجينى. المتغيرات الأخرى التى تؤثر على معدلات التآكل هى هامة كذلك. عمر الكلال للصلب الكربونى فى المياه المالحة أو فى طفلة الحفر حيث الرقم الهيدروجينى أكبر من 11 بدا أنه يزداد بطريقة ملحوظة الشكل (1/20).

أداء كلال التآكل لسبائك الصلب الكربونى والمنخفض السبائكية ليس له علاقة بالقوة وقد وضح ذلك لكل من الماء العذب الموضح فى شكل (20–ب) والماء المالح المحتوى على كبريتيد الهيدروجين، ثانى أكسيد الكربون، الهواء ، أو بعض من المجموع لذا ، فإن المعالجة الحرارية والسبائكية (Alloying) هم أكثر أهمية بالنسبة لمقاومة التآكل عن الخواص الطبيعية.



إجهاد الشد – رطل / البوصة المربعة

شكل (1/20) – (أ) تأثير الرقم الهيدروجينى على سلوك كلال التآكل للصلب الكربونى
(ب) العلاقة ما بين إجهاد الكلال وإجهاد لشد الصلب الكربونى منخفض السبائكيه وصلب الكروم فى الهواء وفى الماء العذب (1) فى الهواء كل أنواع الصلب (2) فى الماء العذب الصلب الكروم (3) . فى الماء وثانى أكسيد الكربون والصلب منخفض السبائكيه .

يجب التحقق أن تكرار الإجهاد المستخدم وبذلك الوقت المتاح لكلال التآكل لهم أهمية كبيرة فى سلوك كلال التآكل للمواد. الاختبارات التى تتم عند ترددات حلقية عالية يمكن أن تظهر حيود قليل عن أداء كلال الهواء خلال جزء كبير من المنحنى.

بالمقارنة تكرار نفس الاختبارات عند تردد حلقى منخفض جداً سيبين رقم أصغر كثيراً من الدورات لحدوث التلف لأى إجهاد. لذلك، فإن تردد الدورة (الحلقية (Cycle frequency يجب اعتبارها كمتغير رئيسى فى أداء كلال التآكل.. مثال للتلف بكلال التآكل الشكل (1/21).

التشقق بالإجهاد والتآكل : (Stress Corrosion Cracking) :

التشقق بالإجهاد والتآكل هو تداخل أو مشاركة ما بين القوى الكيماوية والقوى الميكانيكية والذى ينتج عنه التلف والذى بخلاف ذلك لا يحدث. وهو بسبب الأداء المشترك للعدوانية وجهد الاستطالة المستخدم، أى أن التأثير المشترك للاثنين أكبر من مجموع التأثيرات لعامل واحد. فى عدم وجود إجهاد فإنه السبيكة المعينة سوف لا تتآكل (فى مثل هذه الطريقة الموضعية)، وفى عدم وجود العدوانية تكون السبيكة قادرة على تحمل الإجهاد بسهولة. نتيجة التأثير المجمع هو التلف بالقصافة (Brittle failure) للمعدن المرن العادى.

الإجهاد الذى يؤدى إلى التشقق بالإجهاد والتآكل هو دائماً إجهاد الشد (Tensile Stress). وهذا الجهد يمكن أن يكون مستخدم أو متبقى. أحياناً يكون الإجهاد المتبقى أكثر خطورة نظراً لعدم اعتباره فى تقدير الإجهادات الكلية. عند حدوث التشقق بالإجهاد والتآكل لمعدن فإن الفقد فى المعدن يكون عادة قليل جداً، رغم ملاحظة التآكل النقبى أحياناً. فى كثير من الحالات التآكل النقبى يسبق التشقق مع حدوث التشقق بالإجهاد والتآكل من قاع الثقوب. التشقق يمكن أن يكون أما بين الحبيبات أو عبر الحبيبات ولكن يكون دائماً فى اتجاه عمودى على أعلا إجهادات. أحياناً نمو التشقق يعمل على تحرر الإجهادات وتغير اتجاه أعلا إجهادات. الشقوق تصبح غير مستقيمة ولكنها ستستمر بزاوية قائمة على أعلا إجهادات.



شكل (1/21) مثال للتآكل بالإجهاد لعامود السحب

كل المعادن معرضة للتشقق بفعل الكلال والتآكل فقط المعادن النقية هى التى يبدو أنها غير معرضة. ولكن فى كل الأحوال فإن التآكل بالأجهاد يكون نتيجة التعرض لسبيكة معينة لمجال عدوانى معين ، لا يوجد مجال عدوانى واحد بسبب تآكل الإجهاد لكل السبائك، ومعظم السبائك معرضة للتآكل فى مجالات عدوانية معينة قليلة. عموماً الفترة الزمنية لحدوث التلف ودرجة التشقق يتغيرا طبقاً لتركيز المجال العدوانى، درجة الحرارة وكثافة الإجهاد. الاستعداد للتشقق يزداد دائماً مع زيادة مستوى الإجهاد، والزمن لحدوث التشقق يقل. أحد الطرق لمنع حدوث التلف هو بخفض الإجهادات. والأهم تحديداً هو مساحات تركيز الإجهاد، واختلاف التعرض (Differential Exposure) ، التزاوج بقوة (Forced Mismatches) ، النقطة الأخرى حيث الإجهادات الموضعية تكون مرتفعة جداً فى بعض الحالات يكون النزع أو اللى أم التسطيح بمؤخر المطرقة الحاد (Peening) ، الصقل أو التلميع (Burnishing) ، أو درفلة الأسطح لتوفير إجهادات ضغط ذلك سوف يقلل من الاستعداد للتشقق. زيادة تركيز المحلول عادة يزيد الاستعداد للتشقق ويقلل من الفترة الزمنية لحدوث التشقق. وهذا هام جداً فى المحاليل الضعيفة عادة والتى تصبح مركزة عند نقاط موضعية مثل خط منسوب السائل، النقط الساخنة، والنهايات الميتة. فمثلاً حيث يتشقق الصلب المقاوم من النوع 304 فى محاليل محتوية فقط على قليل من الجزء فى المليون من الكلوريد، فإن تركيز المحلول فى النقطة عند حدوث التشقق وجد أنه مرتفع شكل (1/22).

عند درجات الحرارة المرتفعة، يكون الاستعداد للتشقق كثيراً والفترة الزمنية للتلف قليلة. درجة الحرارة فى أماكن موضعية تكون أحياناً أعلا عن تلك فى باقى المنظومة، وتلك الأماكن هى التى يحدث بها التلف. عن ارتفاع درجة الحرارة أعلا من نقطة الغليان، فإن التلف يمكن تجنبه ذلك لأنه يجب وجود اليكتروليت قبل حدوث التشقق بالتآكل، الإجهاد، وكذلك بسبب عدم وجود اليكتروليت فإن التشقق بالتآكل والإجهاد ولا يحدث فى الغازات الجافة. الجدول (1/3) كشف بالسبائك والمجالات العدوانية المسببة لحدوث التشقق بالتآكل والإجهاد.

جدول (1/4) الوسط المسبب للتآكل والتشقق بالإجهاد

FERROUS ALLOYS				AUSTENITIC STAINLESS STEELS			Martensitic Stainless 405-410	COPPER BASE ALLOYS			
CAST IRON			Mild Steel	302, 304, 321, 347	316, 317	ACI CN-20 20Cr-30Ni		Copper 85-99.9	Brass 70-80Cu +Zn, Sn or Pb	Brass 59-93Cu +Al, Zn or Ag	Cupro-Nickel 66-88 11-33
Gray	Nickel	Silicon									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

NICKEL BASE ALLOYS						MISCELLANEOUS METALS AND ALLOYS							
Nickel 99	Ni-Cu 66-32	Ni-Cr-Fe 76-16-7	Ni-Fe-Cr 32-47-20	Ni-Mo 62-28 +Fe, V	Ni-Cr-Mo 54-15-16 +Fe, W	Aluminum	Gold	Lead	Platinum	Silver	Tantalum	Titanium	Zirconium
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Use the above schedule to identify materials by numbers.

Corrosive	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	25	26
Acetic acid + mercury salts								●	●	●								●				
Alkyl aryl sulfonates				●																		
Aluminum chloride				●	●																	
Aluminum sulfate				●																		
Ammonia			●						●	●												
Ammonium biphosphate				●	●																	
Ammonium chloride				●	●																	
Ammonium fluosilicate													●									
Ammonium hydroxide								●	●	●												
Ammonium nitrate			●																			
Aniline										●												
Barium chloride				●	●																	
Barium nitrate			●																			
Bismuth								●										●				
Calcium bromide				●	●																	
Calcium chloride					●																	
Calcium nitrate			●																			
Carbon tetrachloride				●	●																	
Chlorine				●	●																	
Chlorosilanes										●												
Chlorobenzene													●									
Chloroform				●	●																	
Chlorotoluidines										●												
Chromic acid			●							●			●									
Copper tetramine										●												
Cresol			●																			
Cresylic acid vapors			●																			
Cyanogen			●																			
Dichlorophenol				●	●																	
Epichlorhydrin				●	●																	
Ethanol																					●	
Ethylamine			●																			
Ethyl chloride				●	●																	
Ferric chloride			●							●												●
Ferrous chloride				●	●																	
Fluosilicic acid												●	●			●	●					
Gasoline vapor				●																		
Glutamic acid				●	●																	
Glycerol				●																		
Hexachloroethane				●	●																	
Hydrochloric acid (aerated)																		●				
Hydrocyanic acid + hydrogen cyanide				●		●																
Hydrofluoric acid vapors													●									
Hydrofluoric acid (aerated)				●									●									
Hydrofluoric acid (no air)									●	●		●	●	●								
Hydrogen				●																		
Hydrogen chloride			●	●																		
Hydrogen sulfide (wet)				●														●				
Lead acetate																				●		
Lead bromide				●																		
Levulinic acid				●	●																	
Lithium			●						●	●												
Lithium chloride				●	●																	
Magnesium chloride			●	●	●	●			●	●			●									
Magnesium chloride + calcium chloride				●																		

Corrosive	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	25
Magnesium fluosilicate												●	●								
Magnesium sulfate																●	●				
Manganese chloride				●	●																
Mercuric chloride				●	●			●	●	●	●		●					●			
Mercuric cyanide													●								
Mercuric nitrate													●								
Mercurous nitrate				●				●	●	●			●								
Mercury				●					●	●		●	●	●				●			
Methallylamine										●											
Methanol																					●
Monoethanolamine			●																		
Naphtha feedstock				●																	
Naphthenic acids				●																	
Nickel chloride				●																	
Nickel nitrate			●																		
Nitric acid			●							●											
Pentachloroethane				●	●																
Perchloroethylene																					●
Phosphoric acid					●																
Phosphoric acid (aerated)				●																	
Polythionic acid				●																	
Potassium carbonate			●																		
Potassium chloride				●	●			●	●	●											
Potassium chromate										●											
Potassium hydroxide			●	●	●								●								
Potassium permanganate										●									●		
Silver nitrate			●																		
Sodium aluminate			●																		
Sodium bisulfate				●	●																
Sodium bisulfite				●	●																
Sodium carbonate				●	●																
Sodium chloride				●	●																●
Sodium fluoride			●	●																	
Sodium hydroxide	●	●	●	●	●	●						●	●	●		●					
Sodium nitrate			●									●	●								
Sodium phosphate (tribasic)				●	●																
Sodium sulfate				●																	
Sodium sulfide														●							
Steam														●				●			
Steam, geothermal (aerated)				●	●																
Strontium nitrate			●																		
Sulfate liquor			●	●																	
Sulfonated oil													●	●							
Sulfur												●									
Sulfuric acid			●																		
Sulfuric acid + chlorine				●	●																
Sulfurous acid					●																
Toluene									●	●											
Triethanolamine										●											
Trimethylamine									●												
Uranyl sulfate																					●
Water + hydrogen sulfide + light hydrocarbons					●																
Zinc chloride				●	●																
Zinc fluorosilicate													●								

الصلب الكربونى والصلب منخفض السبائكية

:(Carbon and Low Alloy Steels)

أكبر المجالات العدوانية المسببة للتشقق بالإجهاد والتآكل للصلب المطاوع (الكربونى) هو محاليل إيدروكسيد الصوديوم والنترات. التشقق فى إيدروكسيد الصوديوم، والذى يعرف بالقصافة الكاوية (Caustic Embrittlement) ، كان من المشاكل الخطيرة وخاصة فى خلايا البخار بمسامير البرشام (Riveted). ولكن حالياً تم معرفة الكثير عن ظاهرة أن المثبط الكيماوى والتحرر من الإجهاد بالشكل المناسب استخدم لتجنب القصافة الكاوية.

التشقق بفعل النترات يحدث فى المحاليل الساخنة والمركزة وعادة يكون بين الحبيبات (Intergranular) . نترات الأمونيا ونترات الكالسيوم والصوديوم هى غالباً المسببة لهذا التلف. مثل إجراءات منع حدوث التشقق بالإجهاد والتآكل فإن إجراءات المنع تتم لتجنب الظروف المسببة للتركيز الموضعى، التحكم فى درجة الحرارة، خفض الإجهادات.

كذلك الجمع بطريقة معينة بين CO/CO_2 الذى يوجد فى تدفقات الغاز الخام يمكن كذلك أن يسبب التشقق للصلب الكربونى والصلب منخفض السبائكية.

الصلب عالى القوة : (High Strength Steels) :

تشقق الصلب عالى القوة أكثر حدوثاً عن الصلب المطاوع. فهو يحدث فى المحاليل المالحة، الأجواء الرطبة، ومع الصلب عالى القوة الفائقة حتى فى مياه الصنبور. بينما كثير من مثل هذه التلفيات يكون بسبب التآكل بالإجهاد (Stress Corrosion) إلا أنه توجد شواهد قوية أن معظم التشقق فى الصلب عالى القوة يكون بسبب القصافة الهيدروجينية. التشقق يزداد بزيادة قوة الصلب ، والذى يرجع إلى الحساسية الشديدة للصلب عالى القوة الفائقة. الخبرة أو الاختبارات الحقيقية تكون ضرورية لتعيين العدوانية والظروف التى قد تسبب التشقق لهذه الأنواع من الصلب.

الصلب المقاوم المقسى : (Hard enable Stainless Steels) :

الصلب المقاوم المقسى يشمل الصلب المقاوم المارتنزيت الكروم، الصلب المرسب المقسى المقاوم مثل (17-4 PH). عند المعالجة لمستويات قساوة عالية هذه الأنواع من

الصلب عرف أنها تتشقق بالإجهاد والتآكل. لخفض تأثير التشقق بالإجهاد والتآكل يتم التضحية ببعض القوة بالمعالجة الحرارية للسبيكة. الصلب المقاوم المقسى له أقصى مقاومة بعد المعالجة بالتلطيف (Tempering) عند 593°م، بينما الصلب المقسى المقاوم المرسب يكون أقصى مقاومة بعد التعتيق أو التلطيف عند 621°م.



شكل (1/22) تآكل الكلوريد بالإجهاد للصلب المقاوم 304

الصلب المقاوم الأوستينيت (Austenite Stainless Steels) :

نظراً لاستخدام الصلب المقاوم الأوستينيت على نطاق واسع فى البيئات العدوانية، ولذلك فقد كتب عنه كثيراً بخصوص التشقق بالإجهاد والتآكل أكثر من أى سبيكة أخرى.

الصلب المقاوم الأوستينيت له حساسية للتشقق ما بين الحبيبات وعبر الحبيبات. يحدث التشقق بين الحبيبات عادة فى السبائك التى أصبحت ذات حساسية (Sensitized)

ولكن التشقق عبر الحبيبات يحدث عند عملية زيادة الحساسية (sensitization). العامل الأكثر تأثيراً لتشقق الصلب المقاوم الأوستينيت هو أيون الكلوريد، وبالتالى فإن الكلوريدات من المحتمل أهم سلبيات استخدام الصلب الأوستينيت المقاوم. السبائك أكثر حساسية لمحاليل الكلوريد المركزة الساخنة، ولكن ثبت حدوث التلف فى المحاليل المحتوية أقل من 5 جزء فى المليون كلوريد. بلا شك فى مثل هذه الحالات، تكون الظروف التى تمكن من تركيز الكلوريد. فى بعض المصانع المنتجة للكيماويات المحتوية على تركيز عالى من الكلوريدات، يكون الجو الخارجى ملوث بدرجة أن استخدام الصلب المقاوم يكون محدوداً. مصدر آخر غير مشكوك فيه للتلوث بالكلوريد هو من العزل الخارجى، حيث يحدث تلف كثير للمواسير والأوعية عند وصول الكلوريدات من الأمطار أو مصدر رطوبة من العزل الخارجى.

مصدر آخر للتشقق عبر الحبيبات للصلب المقاوم الأوستينيت هو المحاليل الكاوية الساخنة. هذه الأنواع من الصلب تقاوم العدوانية بالمواد الكاوية عند التركيزات المنخفضة ودرجات الحرارة المنخفضة، ولكن هذه السبيكة يحدث لها التشقق فى المحاليل الكاوية بتركيز أكبر من 50% أو المحاليل المخففة عند درجة حرارة أعلا من 149ْم.

عند تعرض الصلب المقاوم الحساس للعدوانية ثم الإجهاد فإنه يتشقق ما بين الحبيبات. كما تم توضيحه فإن هذا ليس تشقق بالتآكل والإجهاد ولكنه مجرد تشقق ناتج عن الإجهاد الزائد التآكل البينى للحبيبات.

فى السنين الأخيرة زاد الاهتمام بشكل التشقق بالإجهاد والتآكل. سبائك الصلب المقاوم المستخدمة فى تداول تدفقات تكرير المواد البترولية المحتوية على كبريتيد الهيدروجين وجد أنه يحدث لها تشقق بالإجهاد والتآكل بين الحبيبات. فى عدم وجود إجهاد لا يحدث للسبيكة تآكل أو تشقق ملحوظ. معظم التلف يعتقد حدوثه فى وقت لاحق عند اتحاد الكبريتيدات (Salfied) ، الرطوبة ، الأكسجين لتكوين المحاليل المسماة "Polythionic Acids" توجد شواهد على أن حامض الكبريتوز هو المسئول الحقيقى عن هذا التلف. ولكن بصرف النظر عن عامل التآكل فحينما التصق الصلب المقاوم الحساس مع السلفيدات، الرطوبة، والأكسجين فإنه توجد خطورة عدوانية حامض البولى ثيونيك

(Polythionic Acid Attack). لخفض إمكانية هذه العدوانية استخدم الصلب منخفض الكربون من النوع المستقر (Stabilized). عند حدوث الحساسية فقط باللحام أى من هذه السبائك يكون كافياً. ولكن تلك السبائك أيضاً تصبح حساسة لعدوانية حامض البولى ثيونيك عند التعرض لدرجة حرارة إثارة الحساسية (Senstizing) لمدة 1000 ساعة أو أكثر.

السبائك ذات الأساس من النحاس (Copper Base Allyos) :

النحاس النقى مثل المعادن الأخرى يبدو أنه خامل (Immune) وله مناعة ضد التشقق بالإجهاد والتآكل. السباكة حتى مع كميات صغيرة من الفوسفور، الزنك، الأنتيمون، الألومنيوم، السيليكون أو النيكل تجعله حساس للتشقق الحاد بالإجهاد والتآكل بالأمونيا أو المحاليل المحتوية على مركبات الأمونيا . فى بعض الحالات، يكون التشقق بين الحبيبات وعبر الحبيبات.

وجود الأكسجين بالإضافة إلى الأمونيا ضرورى لإحداث التشقق لسبائك النحاس، ولكن حتى الكميات الصغيرة جداً من الأمونيا يمكن أن تكون مدمرة. عملياً، يستحيل غالباً الأبعاد الكلى للأكسجين من المنظومة ، وخاصة أثناء التوقف. حدث كثيراً من التلف عند توقف المعدات الحساسة ثم الفتح للتفتيش عادة لا يتم اكتشاف الخطر لحين بدء المعدة فى التسرب أثناء العمل. لهذا السبب فإنه لا يلاحظ دائماً أو التلف حدث أثناء فترة التوقف والتفتيش عند دخول الأكسجين.

حساسية بعض سبائك النحاس للتشقق بفعل الأمونيا يرجع إلى الفشل حيثما كانت الأمونيا معروفة أولاً. فمثلاً، غاز الأمونيا يمتص سريعاً بواسطة البخار أنابيب النحاس الأصفر (Brass) للمبادل الحرارى المشونة فى جو الأمونيا عرف أنها تتشقق بفعل الأمونيا الممتصة بواسطة الرطوبة المتراكمة على الأنابيب . الإجهادات المتبقية أو الإجهادات من التداول والتجميع كانت كافية فى وجود الأمونيا لإحداث التشقق بفعل الإجهاد والتآكل . كذلك مركبات النيتروجين مثل حامض النيتريك، كانت السبب فى

تلفيات مشابهة . النيتروجين الذى يتحول إلى الأمونيا أحياناً خلال التفاعلات الكيماوية والأمونيا بسبب التشقق.

فى كثير من الحالات، يمكن تجنب التشقق بخفض الإجهادات، وبالتحديد الإجهادات المتبقية. فى الحالات الشديدة القسوة يجب استخدام سبائك أكثر مقاومة. عموماً، زيادة المحتوى من النحاس يزيد من المقاومة فمثلاً النحاس الأحمر (Red Brass) المحتوى على 84% نحاس، 15% زنك أكثر مقاومة من معدن مونتز (Muntz Metal) المحتوى على 62% نحاس، 38% زنك، أو سبيكة الأدميرالتى (Admiralty) المحتوية على 71% نحاس، 28% زنك، 1% قصدير. للحالات شديدة القسوة يجب استخدام سبائك الكوبرو نيكل (Cupro Nickel Alloys). لسوء الحظ ، قسوة الخدمة لا تلاحظ دائماً حتى حدوث التلف، الخبرة والاختبار ضرورى لتحديد أفضل سبيكة لتعرض معين.

سبائك الألومنيوم :

التشقق بالإجهاد والتآكل للألومنيوم هو عموماً يختص فقط بالسبائك عالية القوة مثل سلسلة (20 XX) من الألومنيوم والنحاس، سلسلة (70XX) من الألومنيوم والزنك والمغنيسوم والنحاس. عند المعالجة الحرارية للقوة ، فإن السبائك التى تحتوى أحياناً مجالات مرسبة فى الحدود بين الحبيبات والتى تجعلها ذات حساسية للتشقق بالإجهاد والتآكل بين الحبيبات فى المجالات العدوانية المعتدلة وخاصة الأجواء الملحية. معظم التلف وجد عندما يكون المطلوب نسبة عالية بين القوة والوزن كما فى حالة الطائرات. التشقق دائماً يكون بين الحبيبات (Intergranular). فى العمليات الصناعية يستخدم الألومنيوم كثيراً فى مقاومة التآكل أكثر منه لنسبة القوة إلى الوزن حيث يمكن استخدام السبائك ذات عدم الحساسية. يكون من الضرورى عمل طبقة حماية للتغطية أو أى أسلوب آخر للحماية.

سبائك النيكل (Nickel Allyos) :

النيكل وسبائك النيكل لهم حساسية للتشقق بالإجهاد والتآكل فى عدد قليل من العدوانيات المعينه. ويمكن لهذه المواد أن تستخدم على نطاق واسع فى خدمة المجالات

الكاوية. النيكل وسبيكة (Inconel) السبيكة 600 يحدث لها تشقق بالإجهاد والتآكل في المجال الكاوى المركز عند درجة حرارة أعلا من 316ْم. يوصى بالنيكل المنخفض الكربون فى مثل هذه الخدمة.

سبائك التيتانيوم :

زاد استخدام سبائك التيتانيوم بسبب المقاومة العالية للتآكل فى مجالات بيئية عديدة. ولكن وجد أن التيتانيوم حساس للتشقق بالإجهاد والتآكل فى عدة مجالات: كلوريد الصوديوم الجاف عند درجة حرارة أعلا من 316ْم، حامض الهيدروكلوريك بتركيز 10%، حامض النيتريك الأحمر المدخن، الميثانول، (Uranyl Sulphate) يورانيل سلفيت، ماء البحر، ولكن عادة سبائك التيتانيوم وجدت أنها مقاومة للتشقق فى بيئات معينة.

قصافة المعدن المنصهر (إجهاد السباكة) :

Liquied Metal Embrittlement (Stress Alloying):

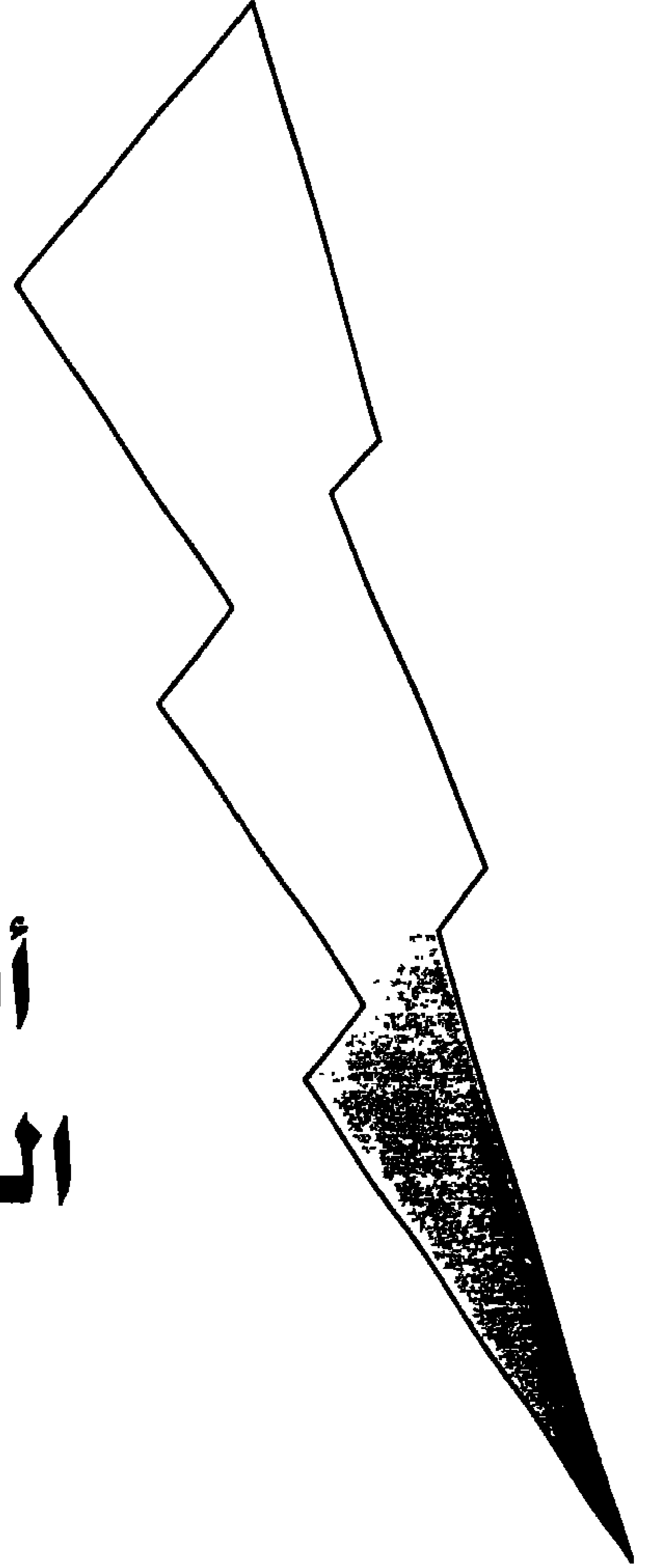
شكل آخر من التلف بفعل القصافة (Brittle Failure) والذى ينتج عن التآكل هو قصافة مصهور المعدن (إجهاد السباكة Stress Alloying). المعدن المتآكل يتفاعل مع معدن آخر أو نواتج التآكل والتى تحت الإجهاد تخترق ما بين حبيبات المعدن. المجال البيئى للحبيبات يكون أما أضعف كثيراً أو أكثر قصافة عن سبيكة الأساس، ولذلك لا يتحمل الحمل، أو قد ينصهر عند درجة حرارة العمل. هذا الشكل الأخير من العدوانية يعرف أحياناً بعدوانية المجال المنصهر (Molten Phase Attack). عدوانية درجة الحرارة المحيطة محدود بتلك بسبب الزئبق على النحاس الأصفر (Brass) وسبائك النحاس الأخرى وعلى سبائك الألومنيوم عالية القوة. سبائك النحاس هى الأكثر حساسية للاثنين وحينما يلتصق النحاس الأصفر تحت الإجهاد أو سبائك النحاس الأخرى مع الزئبق أو أملاح الزئبق يمكن حدوث تشقق خطير بالنسبة للألومنيوم، الذى يتأثر بشدة السبائك ذات القوة الأعلا وشدة العدوانية تتوقف على المعالجة الحرارية للسبيكة. رغم أن الزئبق لا يستخدم عادة فى العمليات، فإن الأجهزة مثل أجهزة قياس الحرارة والضغوط المحتوية على الزئبق هى المستخدمة عادة. عند كسر مثل هذه الأجهزة فإنها يمكن أن تنشر الزئبق

خلال النظام. بسبب ضغط البخار العالى نسبياً للزئبق وحقيقة أن كمية صغيرة فقط يمكن أن تسبب التشقق، فإن تلف أحد هذه الأجهزة يمكن أن يحدث تلف إجهاد السباكة بطريقة متلاحقة وخطيرة.

عند درجات الحرارة المرتفعة، نواتج تآكل معينة يمكن أن تتفاعل مع معدن الأساس مكونة مركب ثالث بين المعدن (Intermetallic Compound) والذى ينصهر عند درجة حرارة أقل من معدن الأساس. هذا عادى فى سبائك النيكل والسبائك ذات الأساس من معدن النيكل الملتصقة بالكبريت عند درجة حرارة أعلا من 593°م. الكبريت يكون سلفيد النيكل (Nickel Sulphide) والذى ينصهر عند درجة حرارة أقل من 600°م وينتج عنه تلف بين الحبيبات.

الفصل الثانى

أشكال التآكل فى آبار البترول والغاز وأسبابه



تآكل الأكسجين :

آبار البترول: فى المناقشة السابقة تم توضيح ضرورة وجود الهـواء أو الأكسـجين لحدوث تآكل الأكسجين. لهذا السبب، فإن تآكل الأكسجين لا يتوقع حدوثه فى معدات آبار البترول تحت السطح. الماء المنتج مع زيت البترول نادراً ما يحتوى علـى الأكسـجين المذاب. رغم أن معظم الهيدروكربونات لا تتفاعل مع الأكسجين عند درجة حرارة خزان البترول، إلا أن خام زيت البترول يحتوى على عدد من المركبات العضوية الأخرى التى تتفاعل مع الأكسجين بسرعة. يحتمل أن أى أكسجين موجود أصلا فى الخـزان قـد تـم استهلاكه بواسطة هذه المركبات العضوية.

ولكن أحياناً، يوجد تآكل الأكسجين فى المعدات السفلى فى البئر. عند حـدوث هـذه الحالة يكون السبب عادة بالإهمال فى ظروف التشغيل أو عيب المعدة. السـبب العـادى لدخول الأكسجين فى آبار الضخ هو الحلقة المفتوحة (Open Annulus).

فى بعض الحقول يتم عادة أخذ الغاز من القيسون. بفعل التفريغ. هذا العمل سـوف يسـمح للأكسجين بدخول التربة الحاملة عند سحب المعدات من الآبـار (When wells Are Pulled). هواء الرفع للإنتاج يعمل على دخول الهواء للبئر. الهواء يمكن أن يدخل البئر مع عملية رفع الغاز فى حالة امتصاص ضاغط الغاز ينزل أقل من الضغط الجوى. وجـود ثـانى أكسيد الكربون / أو كبريتيد الهيدروجين يزيد من معدل تآكل الأكسـجين. كـذلك فـإن الأكسجين المسحوب إلى معدة البئر يمكنه زيادة معدل التآكل أكثر من الموجود عادة.

ماسورة الحفر : (Drill Pipe) :

الأكسجين والاجهادات المتحددة (الكلال) تعتبر السبب الرئيسى للتلف فـى ماسـورة الحفر. الثقوب بسبب تآكل الأكسجين ونتوءات الخدمة مثل علامات الانزلاق والخـدوش الميكانيكية، تركز وتزيد الاجهادات الموضعية فى ماسورة الحفـر، وبـذا تسـبب بـدء التشققات تحت أحمال التردد أو العكسية. أثناء عملية الحفر. وجود الأكسجين فى الطفلـة يزيد من خطورة أداء الكلال (Fatigue Action)، وهذه العمليـة تسـمى تآكـل الكـلال (Corrosion Fatigue). مع زيادة عمق ثقب التآكل، فإن تآكل الكـلال يسـتمر بمعـدل

سريع. كل من هذه الأعمال ينشط الآخر، وتتكرر الحلقة المفرغة. يحدث التلف عند تقديم الشق أو الثقب على طول جدار الماسورة حيث يتم رفع السائل للخارج. قطع السائل يضخم بسرعة حتى الثقب صغير لحين تكون ثقب كبير. بذلك الماسورة تضعف ويمكن بسهولة أن تعوج وتفتل.

التآكل الخارجى لماسورة الحفر عادة لا يكون موضعى ولا يكون ثقوب، بسبب الحك المستمر على أجناب الحفر. كذلك، المحتوى من الأكسجين عادة يتحقق بسبب التفاعل مع مكونات الطفلة مع الوقت وبدء رحلة عودة الطفلة. ثقوب التآكل الداخلى هى الأكثر فى احتمالات حدوثها ولهذا السبب فإن التلف بالكلال يبدأ عادة على السطح الداخلى للماسورة.

معدات السطح (Surface Equipment) :

تآكل الأكسجين هو عموماً مشكلة خارجية فى معدة الإنتاج الأولى. فى المناطق ذات الرطوبة المرتفعة نسبياً يمكن أن يحدث تآكل ثقبى حاد وتآكل كلى. وجود تراكمات للمواد الصلبة مثل الأملاح تعمل على امتصاص الماء من الهواء وبذا تزيد من معدل التآكل وذلك بالعمل على استمرار رطوبة السطح.

الجانب السفلى لحوض التخزين (Stock – Tank Decks) عادة يحدث له تآكل أكسجين حاد. تنفيس الحوض يمكن من التصاق الهواء بالرطوبة المكثفة على سطح الصلب. وجود كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون يزيد من معدل العدوانية.

كذلك فإن المواسير على السطح يحدث لها نفس التآكل العام مثل المعدة الأخرى. تآكل المواسير المعرضة لرش المياه مثل المواسير فى أبراج التبريد يمكن أن يكون حاد جداً.

معدة الحقن للإفاضة بالماء (Water Flood Injection Equipment) :

تستخدم معدة الحقن للإفاضة بالماء لحقن بئر الزيت التى قاربت النضوب. الأكسجين فى مياه الإفاضة المالحة فى حقل البترول هو السبب الرئيسى لتآكل هذه المعدة. توفر الأكسجين بشكل محدود قد يسبب تكون كتل واضحة تسمى نتوءات أو درنات. نواتج التآكل تكون فى شكل هلامى ورخوة وقد يحدث تآكل ثقبى عميق أسفل ترسيبات نواتج

التآكل وسرعة حدوث الثقوب فى المعدن، إعاقة التدفق، وتكون مواد الإعاقة للتدفق من نواتج التآكل يمكن توقعه. حجم نواتج التآكل مقارنة بكمية الأكسجين يمكن أن يكون كبيراً بطريقة مدهشة كما يمكن أن يسبب زيادة فى التلف أكثر مما يظهره الأكسجين. كميات صغيرة من نواتج التآكل يمكن أن يسبب انسداد للمعدة وكذلك انسداد التركيب الجيولوجى (Formation) عند آبار الحقن.

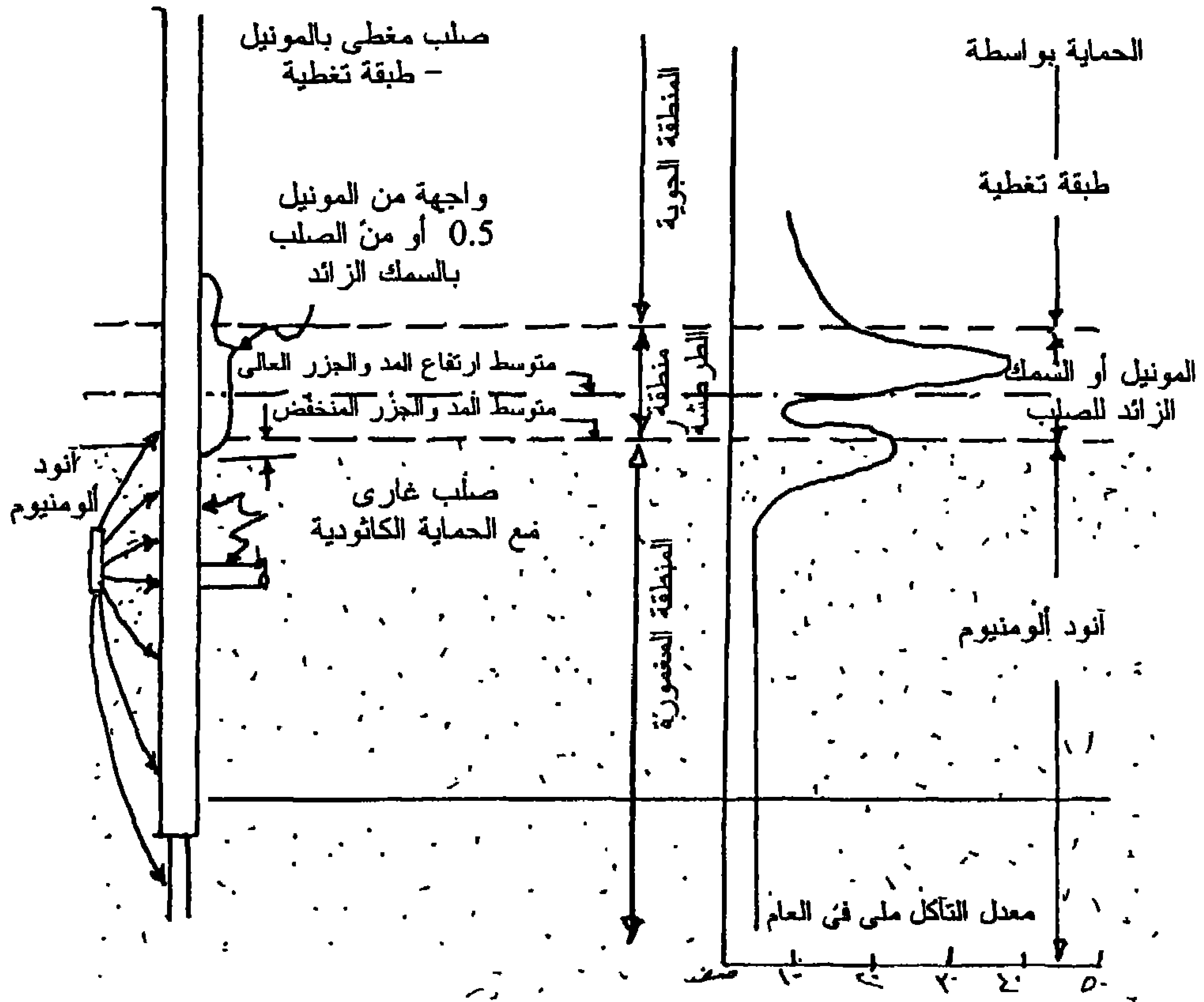
كذلك فإن الأكسجين يمكن أن يسبب انسداد لبئر الحقن وذلك فى حالة مياه الحقن (أو مياه الشحن الجوفى) مركبات الحديد والمنجنيز المذابة والتى تتفاعل مع الأكسجين مكونة مواد غير مذابة.

العمليات البحرية (البعيدة عن الشاطئ) : (Off shore Operations) :

التآكل للمنشآت البحرية يمكن أن ينقسم إلى أربع مناطق للعدوانية. هذه المناطق تتطابق إلى حد ما، كما أنه يتوقع وجود اختلاف فى معدل التآكل لنفس المنطقة. وهذه المناطق الأربع هى شكل (2/23)

- ✓ منطقة الطين أو الحمأة: (Mud zone) وهى الجزء من المنشأ الواقع أسفل قاع البحر.
- ✓ المنطقة الغاطسة أو أسفل الماء: حيث يكون المعدن مغطى دائماً بالماء.
- ✓ منطقة الطرطشة (Splash zone): فوق خط الماء، حيث أداء الموج يعمل على استمرار بلل المعدن (وأحياناً بتعرض للصقل بفعل الثلوج).
- ✓ المنطقة الجوية (Atmospheric Zone): حيث تبدو المنطقة جافة معظم الوقت.

فى المنطقة المغمورة تحت سطح الماء، يكون التآكل عام . التآكل الثقبى العام والضحل هو العادى. عند انكسار الأمواج على المنشأة، يحدث برى عند خط الرمال (Sand Line) بسبب احتكاك الموج الدافع للرمال . وهذه هى مشكلة أساسية للبرى، ولكن التآكل هو العامل المساعد الرئيسى. التلف للمنشآت البحرية يكون حاد جداً فى منطقة الطرطشة (Splash).



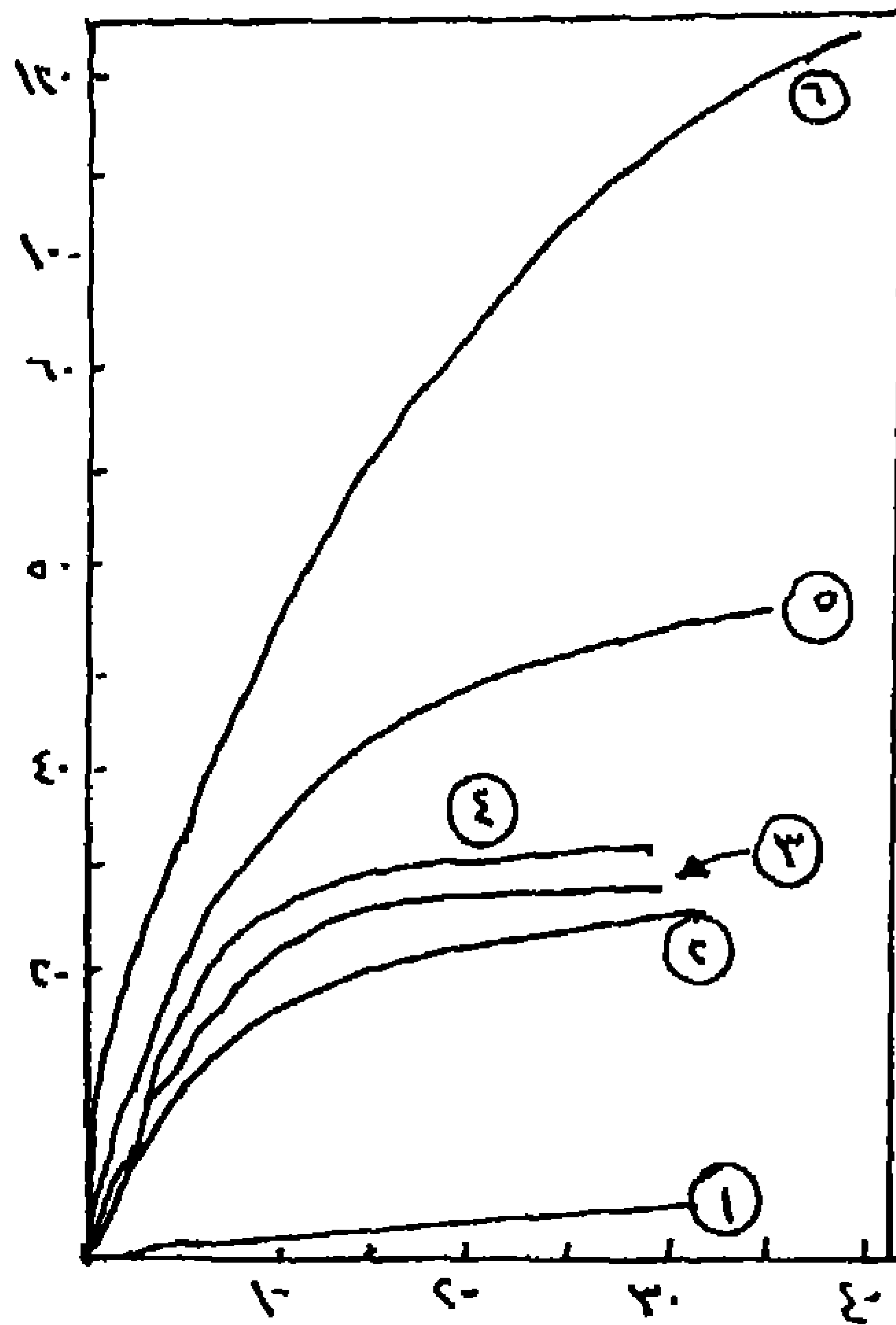
شكل (2/23) مناطق التآكل، معدن التآكل النسبى،
وإجراءات الحماية لمنشآت الصلب فى مياه البحر.

هنا الغسيل الذى يحدث بالماء الملحى المحتوى على أكسجين الهواء الجـوى يزيـل نواتج التآكل وذلك قبل تكون طبقة الحماية، بما ينتج عنه تآكل ثقبى عميق. الحد الرأسـى للطرطشة يتوقف على مجال المد والجزر وارتفاع الأمواج.

تصميم المنشاة وطريقة توصيل المكونات يمكن أن تقلل من التلف بفعل التآكل فـى هذه المنطقة. نظراً لأن هذه المنطقة هى الأكثر صعوبة بالنسبة لحمايتهـا، فإنـه يكـون المفضل تحديد وتقليل العوارض (Cross Members) إلى أقل ما يمكن.

منطقة الرش تبدو عادة جافة، ولكن دائماً على سطحها طبقة رقيقة من الملح. مـع بـرودة المنشأة ليلاً، وزيادة الرطوبة، تمتص الأملاح الماء من الهواء مكونة طبقة من الرطوبة وتقلل من

معدل التآكل. نواتج التآكل تميل إلى الانفصال فى شكل قشور وهذا التخلص الغير منتظم من الصدأ يزيد من التآكل الثقبى. عموماً يكون التآكل الثقبى أكثر عمقاً على السطح السفلى للمنشأ المحمى بالظل عن الأسطح العلوية التى تجف بحرارة الشمس.



شكل (2/24) تآكل جوى للصلب فى بيئة كلوريد الصوديوم، والرطوبة النسبية (1) 58، (2) 70، (3) 80 ، (4) 89، (5) 94 ، (6) 97.

التآكل الحلو (Sweet Corrosion) :

كما تم مناقشة التآكل الحلو هو فى حالة عدم وجود كبريت، حيث يكون التآكل بسبب وجود ثانى أكسيد الكربون المذاب.

آبار الغاز المكثف : (Gas Condensate Wells) :

تآكل مواسير آبار الغاز المكثف عادة يكون فى شكل ثقوب عميقة. تآكل المواسير يحدث فى ثقوب حادة ومحددة حيث تخترق الجدار كلية فى زمن قصير نسبياً. هذه الثقوب تكون بسبب الغازات الحامضية المذابة فى نقاط الماء المكثف على جدار الماسورة، والمواسير أسفل نقطة التكثف قد تكون خالية نسبياً من التلف بفعل التآكل.

آبار الزيت الحلو : (Sweet Dil Wells) :

التلف بفعل التآكل فى أعمدة السحب (Sucker Rods) فى آبار الزيت الحلو قد تكون فى شكل تآكل ثقبى حاد، أو فى شكل تآكل الكلال. فى كثير من المناطق تكون المصادر

الرئيسية للمشاكل هى تلف مسامير الرباط وجلبة الرباط (Pin Coupling) بسبب كلال التآكل أو بسبب كلاً من التآكل والبلى أو البرى.

يحتمل أن يكون أخطر مشاكل التآكل للزيت الحلو هى فى آبار رفع الغاز. هذه الآبار عادة عميقة، ذات ضغط القاع مرتفع وبالتالى الضغط الجزئى المقابل لثانى أكسيد الكربون يكون مرتفعاً. وهذه كذلك منتج كبير للمياه. المشكلة تزداد سرعتها عادة بحقن غاز لرفع الغاز إذا كان يحتوى على كميات صغيرة من الأكسجين ، مثال موضح فى الشكل (2/25). مشكلة رفع الغاز لا شك أنها حادة حيث يصعب عمل معالجة كيماوية تحت التركيب الحلقى وأسفل محابس رفع الغاز إلا فى حالة استخدام تقنيات إزاحة للمواسير أو الحشر.

التآكل الحامضى: (Sour Corrosion) :

يعرف التآكل بسبب كبريتيد الهيدروجين المذاب فى الماء بالتآكل الحامضى مواسير بئر زيت البترول: فى مواسير بئر الزيت يمكن أن يسبب كبريتيد الهيدروجين وجود ثقوب والتى عادة تكون ناعمة وتبدو كمنخفضات.

تآكل الفراغ الحلقى : (Annular Space Corrosion) :

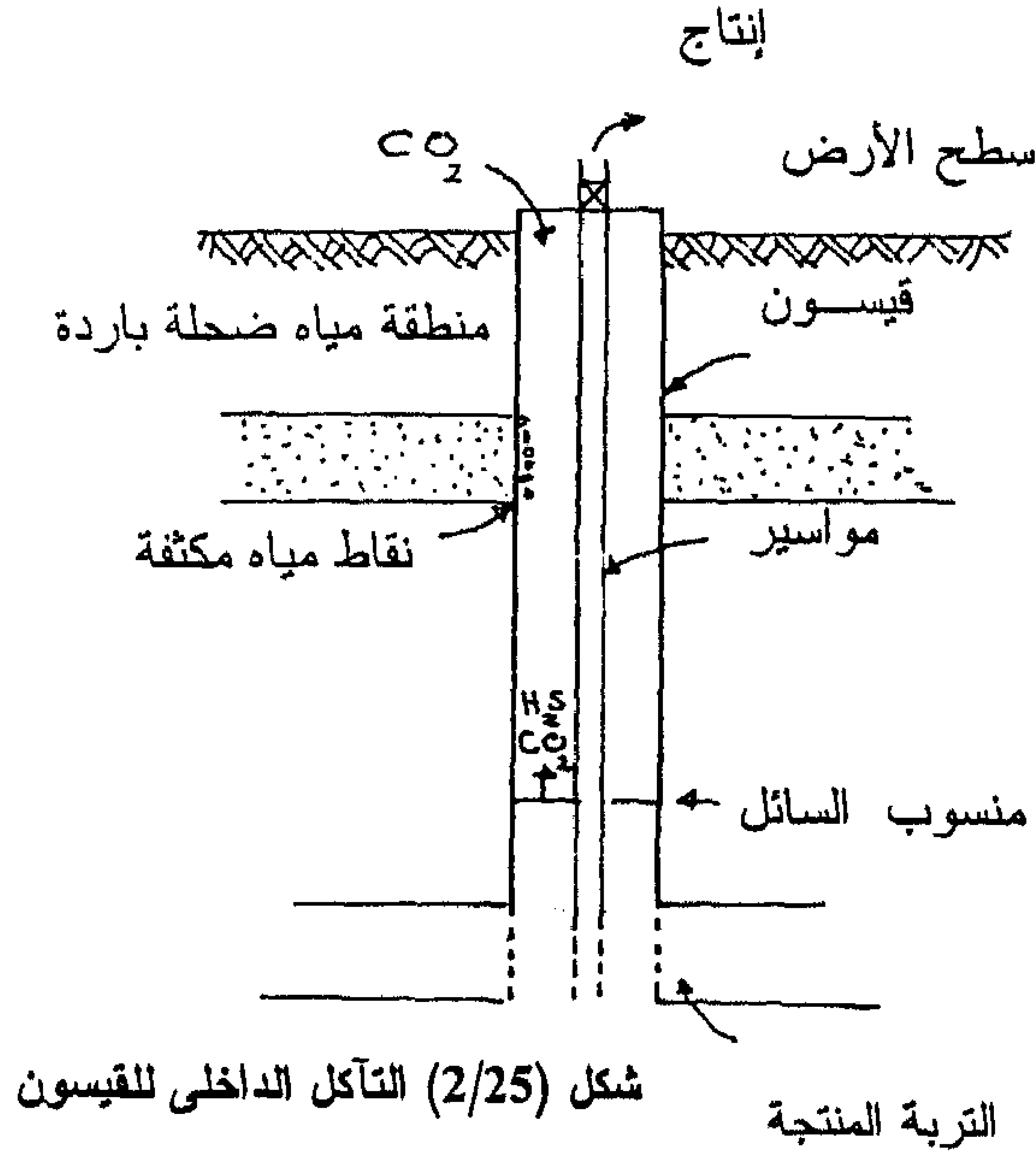
على السطح الداخلى للمواسير أو الداخلى للقيسونات فوق المستوى الحلقى للتآكل حيث لا تعمل أى تأثيرات للبرى ، يكون للثقوب أطراف حادة ومتكهفة وذات مسام (Cavernous). فى داخل قيسون بئر الزيت تكون آلية تآكل كبريتيد الهيدروجين كالآتى:

فى عدم وجود رازمة، أو عازلة الإنتاج فى بئر الزيت (Packer) يكون التركيب الحلقى لمواسير القيسون معرض لغازات الخزان. الغاز مشبع بالغاز عند ظروف الخزان. مع حمل الغاز أو تسربه إلى أعلا، فإن الماء يتكثف على سطح القيسون فى المساحات التى تبرد إلى أقل من نقطة الندى شكل (2/25). عندئذ يذوب كبريتيد الهيدروجين فى نقاط الماء وينشط التآكل. نظراً لأنه لا يوجد تدفق فى التركيب الحلقى (Annulus)، فإن ترسيبات كبريتيد الحديد لا يتم إزالتها. هذه الترسيبات تنشط التآكل الثقبى كما سبق توضيحه.

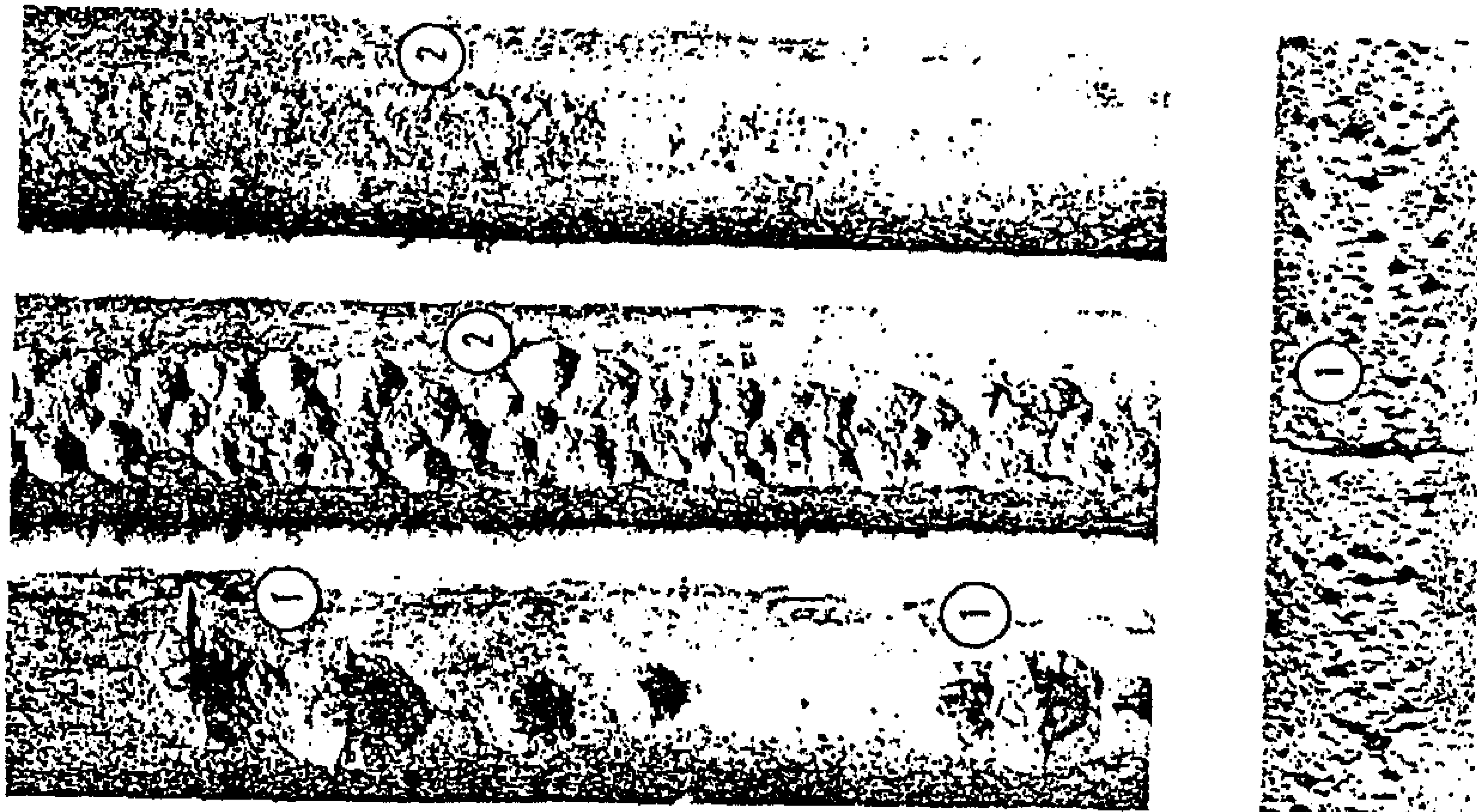
أعمدة السحب : (Sucker Rods) :

التآكل بفعل الكبريتيد على أعمدة السحب من الصلب الكربونى عادة يظهر فى شكل تآكل ثقبى شكل (2/26). قد تتكون شقوق كلال صغيرة عند قاع هذه الثقوب. قد تتكون

شقوق مشابهة عند مساحات تلف السطح، مثل علامات النزع أو اللى، حتى فى حالة ضآلة عدوانية التآكل بسبب التشقق الكبريتى.



شكل (2/25) التآكل الداخلى للقيسون



شكل (2/26) تآكل ثقبى لأعمدة السحب فى المجال الحامض (1) التشقق تكون عند الأطراف للثقوب الحادة (2) قليل من التشققات عند الثقوب المتسعة

اختبار نهاية الكسر العامودى السحب الذى تلف أثناء العمل يكشف عن سطح ناعم ممتد على مستوى نصف الكسر تقريباً. باقى المقطع ينكسر بالشد باستخدام طرف مسنن (Jagged Edge) حيث يحدث الفصل النهائى. يمكن معرفة شواهد التشقق على الجانب المقابل لهذا الطرف المسنن. الشرخ الصغير الأولى امتد عبر القضيب فى مراحل متدرجة حيث نشط التشقق بالتآكل.

آبار الغاز : (Gas Wells) :

فى آبار الغاز الحامضية المعنية يمكن رؤية قليل جداً من التآكل الثقبى إذا وجد على سطح المعدة، عندئذ يحدث تلف سريع للمعدة. التلف من هذا النوع يرجع إلى التشقق الكبريتى فى القصافة الهيدروجينية. الشكل (1/17) يوضح مثال لهذا النوع من التلف.

وجد كذلك تآكل ثقبى حاد فى آبار الغاز الحامضية العميقة ذات الضغط العالى المنتجة للماء المالح، لكن قليل من الغاز المكثف.

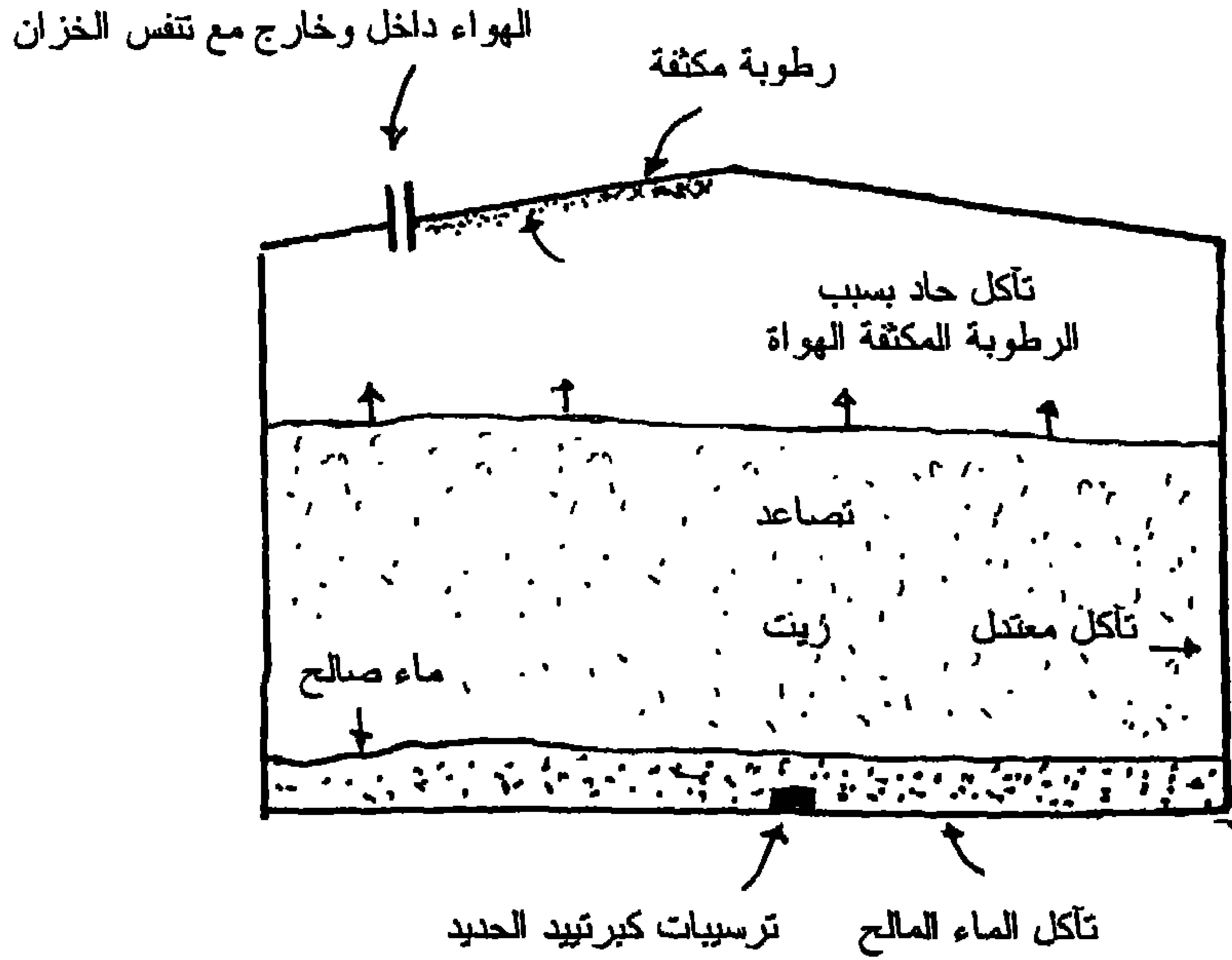
معدة السطح : (Surface Equipment) :

معدة السطح التى تتداول المنتج الحامض سوف مع قليل من الاستثناءات تواجه نفس النوع من العدوانية مثل المعدة تحت السطح . فى خزانات حفظ الزيت والمعدات الأخرى لتناول هذا النوع من الإنتاج ، حيث يوجد الأكسجين، فإن تآكل السلفيد يمكن أن يكون حاداً وسريعاً. نموذج الأماكن العدوانية فى خزان الزيت موضح فى الشكل (2/27) .

فى خزانات حفظ زيت البترول، تآكل الجانب السفلى للقاع يبدأ مع تكثف نقاط الماء والتى تتشبع بسرعة بكبريتيد الهيدروجين . دخول الأكسجين يساعد فى تعجيل التآكل . هذا التآكل ينتج عنه تآكل ثقبى حاد والذى يمكنه عمل ثقوب فى قاع الخزان.

نوع آخر من التآكل يحدث على قاع خزانات الحفظ نتيجة طبقة الماء التى توجد عادة عند قاع كل الخزانات. تفاعل ثانوى يحدث عند قاع الخزان والذى يكون بسبب قشور التآكل الثقيلة التى تسقط من الجانب السفلى لسقف الخزان، وهذه تسبب عدوانية خلية تركيز والتى ينتج عنها تآكل ثقبى حاد. وتآكل أجناب الخزان عادة يكون ضعيف، ولكن يحدث تآكل حاد عند القاع عند 18 بوصة أسفل خط التلاقى بين الزيت والماء. أحياناً

يكون التلف الحاد فى معظم خزانات حفظ الزيت هو التبثر الهيدروجينى (Hydrogen Blistering) فى معظم خزانات حفظ البترول.

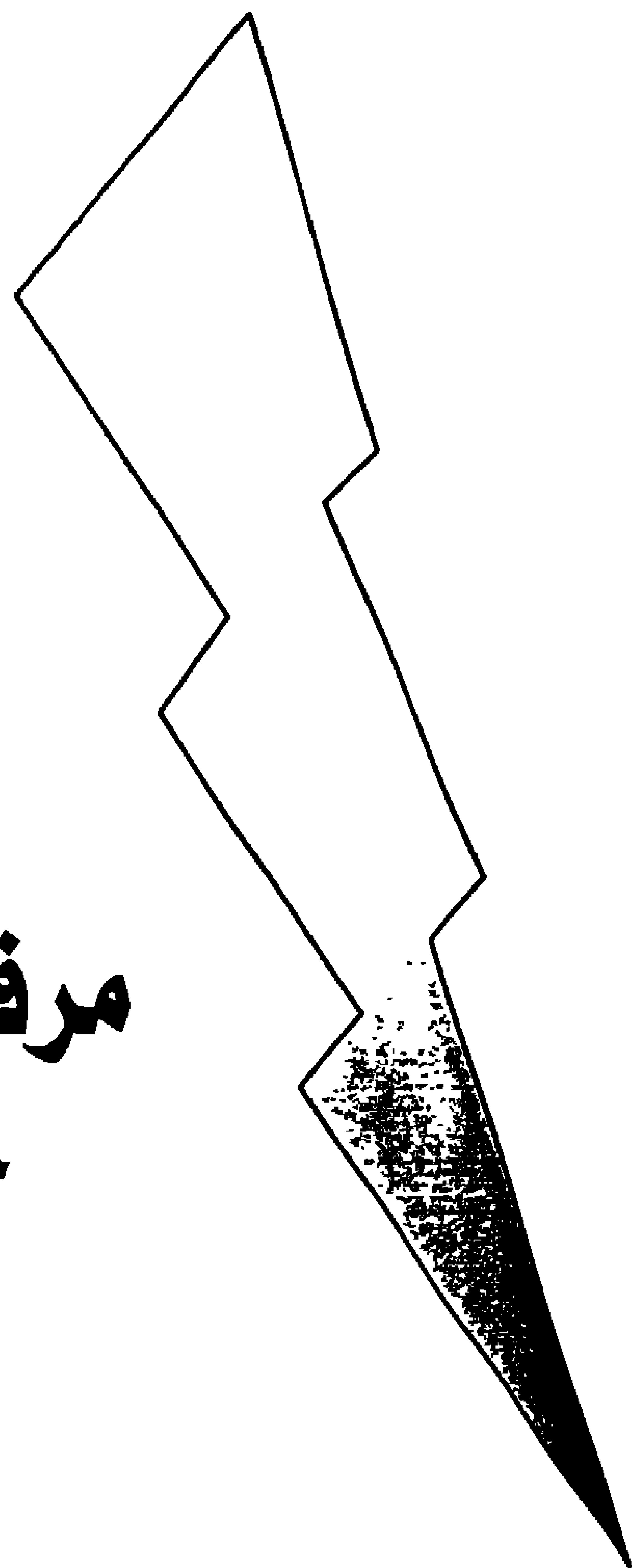


شكل (2/27) مناطق التآكل والأسباب فى خزانات الزيت الخام الحامضية.

معدات الحقن: معدات الحقن للغاز أو الماء يمكن التوقع أن يكون لها نفس التآكل مقارنة بمعدة الإنتاج. فى حالة حقن الماء يكون المتوقع المعدل العالى للتآكل فى حالة دخول الملوثات من الأكسجين خلال التداول السطحى.

الفصل الثالث

مرقبة التآكل فى معدات حقول البترول والغاز



1- مقـــــــدمـــة :

سوف يتم تناول طرق الكشف عن التآكل السطحى وأسفل فتحة البئر لمعدات آبــار البترول. يجب معرفة أن قياسات التآكل بخلاف الكشــف الظــاهرى للمعــدات تســتخدم كمؤشرات للعدوانية وليست بالضرورة لبيان معدلات التآكل. من الأهمية هى التغيرات فى القيم التى تمكن التغيرات الطبية أو الغير طبية فى معدلات التآكل. كل القياســات يجــب تقييمها جيداً بمعرفة تاريخ النظام، درجة الثقة فى طريقة الاختبار وتقنيات التحليل.

2- عينات التآكل (Corroding Speciments) :

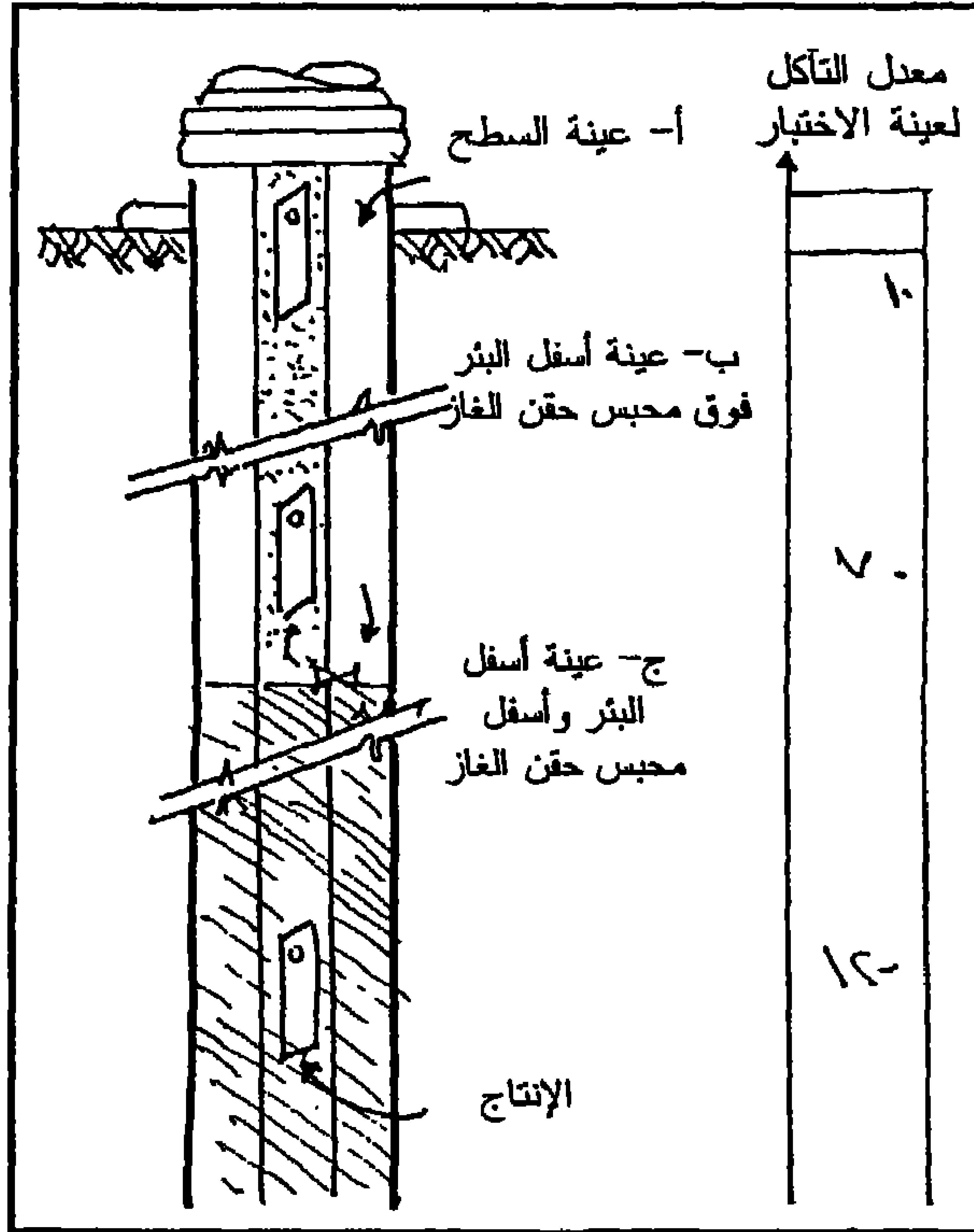
الطريقة الشائعة لكشف ومراقبة التآكل الداخلى وإيقافه هى بتعرض عينات الاختبــار – قطع من المادة توضع فى المجال لتتآكل ثم يتم تحليلها. هذه الطريقة تشمل قضــيب أو شريحة اختبار التآكــل (Coupons) ، أو وصــلة الاختبــار (Test Nipple) ، بكــرات (Spools) ، وتجهيزات خاصة باستخدام مجسات التآكل (Corrosion probes).

قضيب أو شريحة اختبار التآكل : (Coupon) :

عادة فى الإنتاج يتم وضع شريحة اختبار التآكل عند تقييم التآكل. كثيراً من خطــوط المواسير والعمليات الصناعية يتم رصد مشاكلها الداخلية بهذه الشرائح. شريحة اختبــار التآكل هى قطعة صغيرة من المعدن التى توضع فى داخل المنظومة حيث تترك لتتآكــل. يتم تنظيف شريحة الاختبار بحرص ثم وزنها قبل وبعد تعرضها لعدوانية المجال. يمكــن تعيين معدل التآكل من الفقد الذى حدث فى وزن العينة. توجد أنواع كثيرة مــن أشــكال وأبعاد شرائح الاختبار كما توجد أنواع كثيرة من محطات هــذه الشــرائح (أى طريقــة إمساكها Holders). هذه الماسكات أو المحطات تتكون أساساً من وسائل حمل العينة فــى مسار تدفق السائل بينما تكون العينة معزولة عن المعدن الآخر.

الوضع : مكان شريحة الاختبار فى المنظومة له أهمية خاصة لأن المكان يؤثر بشدة على النتائج ذلك لأن التآكل لا يحدث بانتظام خلال المنظومــة. الشــكل (3/1) يوضــح اختلاف البيانات من وضع شرائح الاختبار عند أعماق مختلفة فى بئر رفع الغاز. عينــة الاختبار عند رأس البئر تظهر انخفاض معدل التآكل بينما تلك الموضوعة قبــل محــبس

رفع الغاز تبين شدة التآكل. وبالمثل فى المواسير الأفقية يكون معدل التآكل منخفض فى الأماكن التى يسهل الوصول إليها بينما يكون شديداً فى الأماكن المنخفضة التى يصعب الوصول إليها حيث ما يكون غالباً بسبب تجمع المياه.



شكل (3/1) بيانات التآكل لعينات الاختبار فى بئر الإنتاج برفع الغاز – حيث يظهر معدل التآكل على مختلف الأعمال بالمليمتر فى العام.

البيئة : السوائل التى تتعرض لها شريحة الاختبار هى كذلك ذات أهمية. عادة توضع العينات فى نظم آبار الغاز بالماء، وأماكن أخرى حيث لا يتم تغطية كل السطح بالماء، لذلك فإن هذه المشكلة تكون ضعيفة – ولكن استخدام شريحة الاختبار يمكن أن يساعد فى أى مجال إذا كانت العوالم مثل سرعة سقوط نقط المياه، التدفقات متعددة المجال.. الخ التى قد تؤثر فى النتائج يتم أخذها فى الاعتبار.

التداول : تداول شريحة الاختبار وتثبيتها وسحبها يمكن أن يؤثر على معدل التآكل نقطة من بصمة يد بها عرق إرتشاجى معدل التآكل عند هذه النقطة. البصمة الدهنية يمكن

أن تحمى كلياً أو جزئياً مساحة من عينة الاختبار. يجب أن تكون العينة خالية من التآكل على وضعها فى النظام كما يجب منع حدوث تآكل عند سحبها إلى المعمل. أحد الطرق لحماية عينات الاختبار هى باستخدام أظرف ورقية مثبطه.

وعند وضع الكوبون فى مكان الاختبار يراعى الإمساك بها فقط من الأطراف.

زمن التعرض: زمن التعرض كذلك له أهمية. زمن التعرض القصير يعطى إجابة سريعة ولكن هذه يمكن أن تكون مخالفة للواقع. فى حالة أن المشكلة تكون حدوث التآكل الثقوب فإن الثقوب قد تستغرق عدة أسابيع لتستقر. لذلك إذا أظهر التعرض القصير أن النظام مسيطر عليه ، فإن زمن التعرض يجب أن يزداد ومقارنة النتائج مع بيانات زمن التعرض القصير.

كذلك توجد متغيرات أخرى مثل إعداد السطح، النظافة ... الخ والتى يمكن أن تؤثر على نتائج دراسات عينة الاختبار. عند تحليل نتائج تعرض العينة، فإنه من المهم عمل القصة الكاملة. كما ذكر، يتم وزن العينة قبل وبعد التعرض، ثم يتم تحويل الفقد فى الوزن إلى معدل التآكل وهو (الاختراق بالملى فى العام penetration MPY Milsper yea) باستخدام المعادلة التالية.

$$MPY = \frac{\text{الفقد فى الوزن بالجرامات} \times 22300}{Adt}$$

حيث A = المساحة بالبوصة المربع.

d = كثافة المعدن (جرام / سم^3)

t = الزمن بالأيام

هذه القيم المقدرة من الفقد فى الوزن بفرض أن التآكل كان منتظماً على كل سطح عينة الاختبار. وطبيعى أن هذا عادة مخالف للواقع. لذلك فإن التقرير الكامل يجب أن يشمل الكشف بالنظر على العينة لتعيين نوع التآكل. باستخدام برنامج حماية عينة يمكن خفض التآكل الكلى أى خفض (MPY) إلى مستوى مقبول ولكن ماذا عن التآكل الثقبى؟ الثقوب الحادة يمكن أن تحدث التلف فى الماسورة فى وقت قصير.

الوصلة المقلوظة الطرفين للاختبار: (Test Nipples) :

كثير من العاملين يقوموا بتركيب وصله مقلوظة الطرفين خاصة فى الخط لتعمل كعينة اختبار ضخمة. تستخدم عينة الاختبار هذه جنباً إلى جنب مع تقنيات أخرى للمراقبة والرصد ويمكن تعرضها لعدة شهور، نتيجة تعرضها توضح تأثير المدى الطويل للتآكل. وهى كذلك تمثل عينة لداخل الماسورة لكل 360 درجة للسطح الداخلى وتوفر عينات دقيقة للتأثيرات الديناميكية. يمكن وزن هذه العينات من الوصلات المقلوظة وتعيين المعدلات كما فى حالة شريحة العينة (coupons). ولكن المساهمة الكبيرة هى المظهر الطبيعى. يمكن قطع الوصلة وقياس عمق الثقوب .. الخ.

3- الطرق الكهربية والكروكيميائية :

(Electrical And Electro Chemical Methods)

أ- مجسات المقاومة الكهربية : (Electrical Resistance Probes)

أجهزة المقاومة الكهربية مثل قياس التآكل (Corrosometer) ، تعين الفقد بقياس الزيادة فى مقاومة قطعة المعدن بسبب انخفاض سمك المقطع بفعل التآكل. وهذه تسمى العينة الكهربية للاختبار (Electrical Coupon). الشكل (3/2) يوضح جهاز قياس التآكل ومكوناته الرئيسية. يتم وضع مجس من سبيكة تشبه سبيكة المعدن فى النظام وذلك بحشر المجس فى وصلة قريبة. نموذج لوضع المجس موضع فى الشكل (3/3).

قراءة خط الأساس تتم بعد وضع المجس بفترة زمنية ممتدة ليكون المجس فى حالة اتزان مع البيئة المحيطة (درجة الحرارة ، وتكيف السطح). بعد فترة زمنية مناسبة، يتم أخذ قراءة الجهاز (التغير فى المقاومة) وتحويلها من قراءة مترية إلى اختراق بالملى فى العام. باستخدام معدلات التحويل والمعادلة التى يوفرها المنتج. يتم توقيع البيانات على مخطط للحصول على معدلات التآكل. نموذج للمعلومات من جهاز قياس التآكل موضحة فى الشكل (3/4). تقييم البيانات من جهاز قياس التآكل معرضة لنفس المحددات كما فى حالة شريحة الاختبار. فمثلاً، الترسيبات على سطح المجس يمكن أن تحميه من المجال العدوانى. فى بعض الحالات، يكون ترسيب كبريتيد الحديد (Fes) على العنصر موصل كهربى بما يسبب زيادة ظاهرية فى مقطع العنصر المعرض. وهذا ينتج

عنه انخفاض فى قياس معدل التآكل، حيث تكون قراءة التآكل الظاهرى صفر أو تكــون بالسلب (بسبب الزيادة الظاهرية فى المعدن وليس النقص بسبب التآكل).

ب- أجهزة الاستقطاب الخطى (الطولى) :

(Linear Polarization Instruments)

هذه الأجهزة مثل (Corrator, Petrolite Corrosion Rate Meter) تقــوم بالقيــاس الفورى لمعدلات التآكل باستخدام ظاهرة كهروكيميائية تسمى الاستقطاب الخطى. تشــمل هذه التقنية قياس التيار المطلوب لتغيير الجهد الكهربى لعينة تتآكل فى سائل موصل بعدة مليفولتات قليلة. لقد ظهر أنه طالما أن التغير فى الجهد لا يزيد عن 10 إلى 20 مليفولت، فإن معدل وطبيعة تفاعلات التآكل لا يحدث لها إعاقة، وأن كمية التيار المستخدم للازمــة لإحداث التغير فى الجهد تتناسب مع تيار التآكل. يمكن الوصف لهذه العلاقــة رياضــياً كالآتى:

$$I_{Corr} = K \frac{I_{app}}{\Delta E}$$

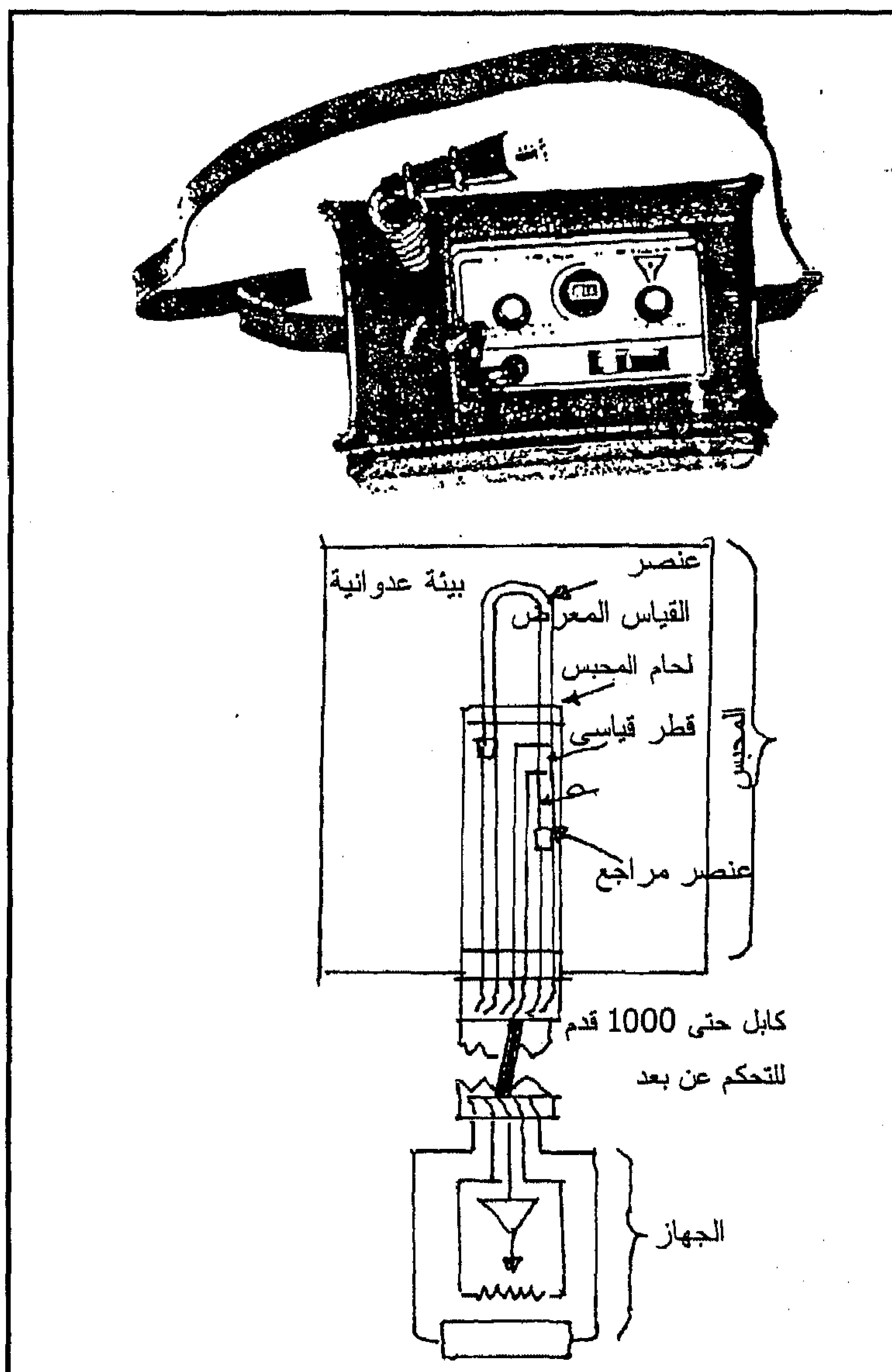
حيث :

I_{corr} = تيار التآكل للعينة

E = التغير فى الجهد الكهربى للعينة.

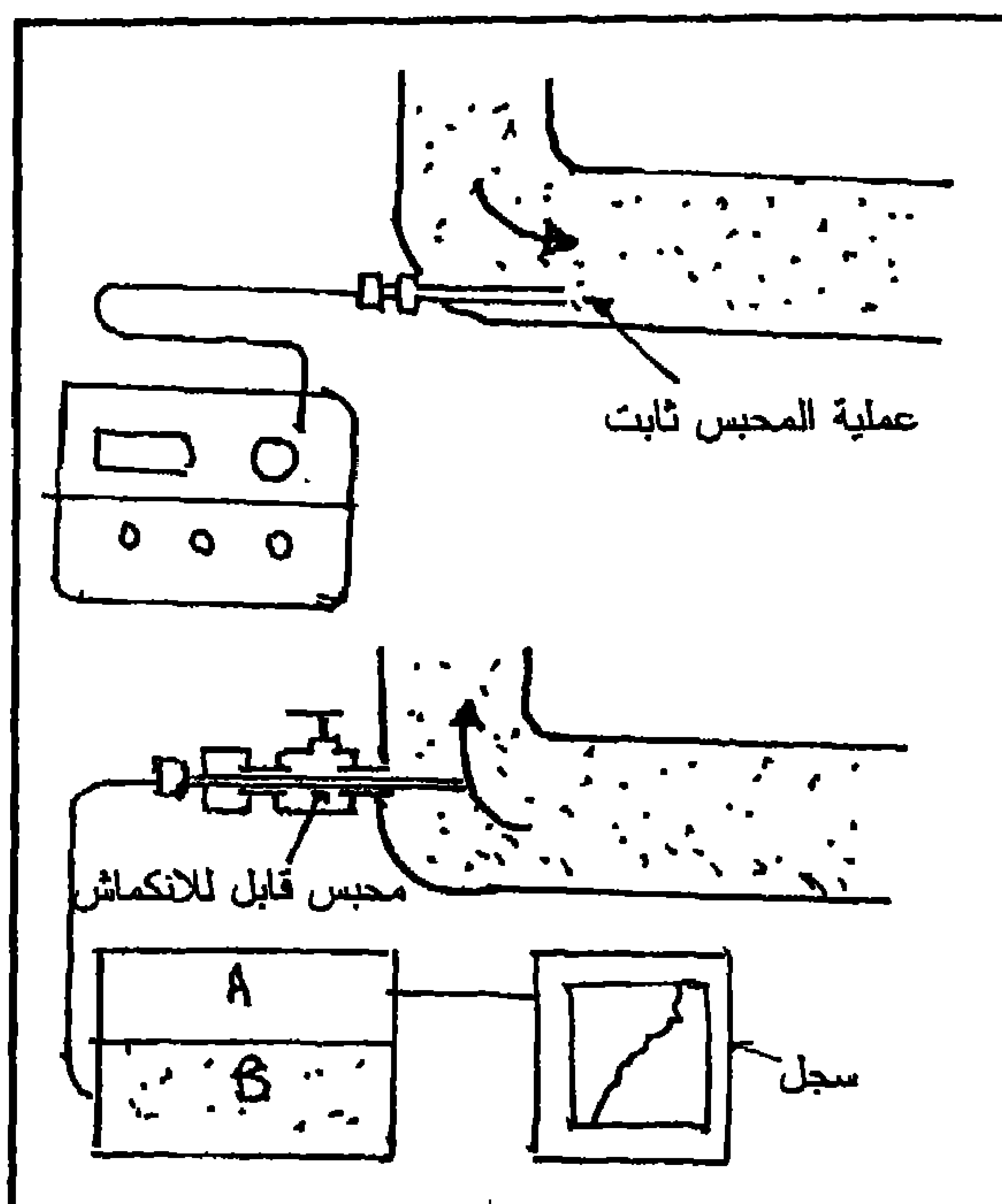
I_{app} = التيار المطلوب استخدامه لتغيير الجهد الكهربى للعينة

K , ΔE = مجموعة ثوابت .

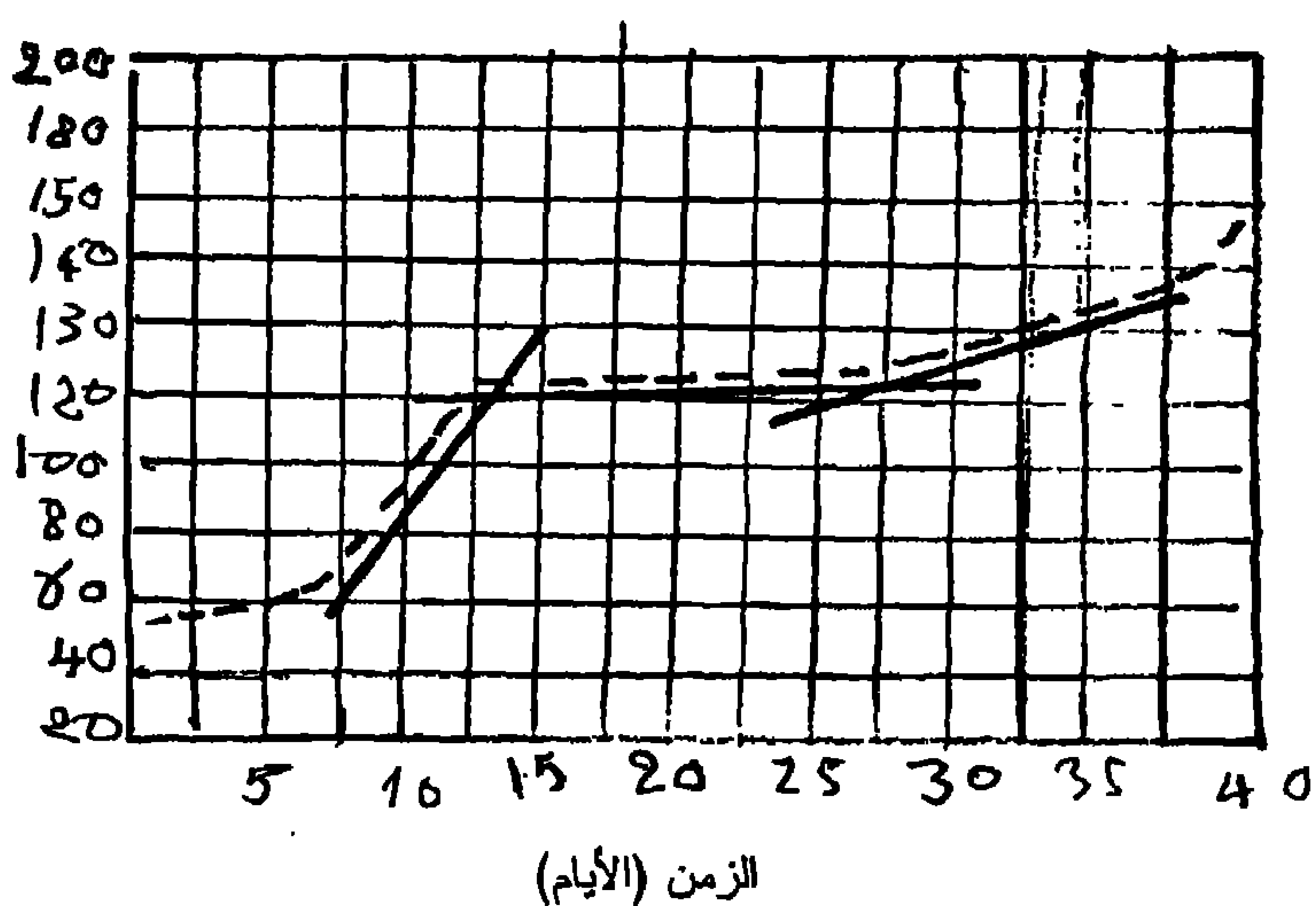


شكل (3/2) مقياس التآكل فى المقاومة الكهربية العلوى

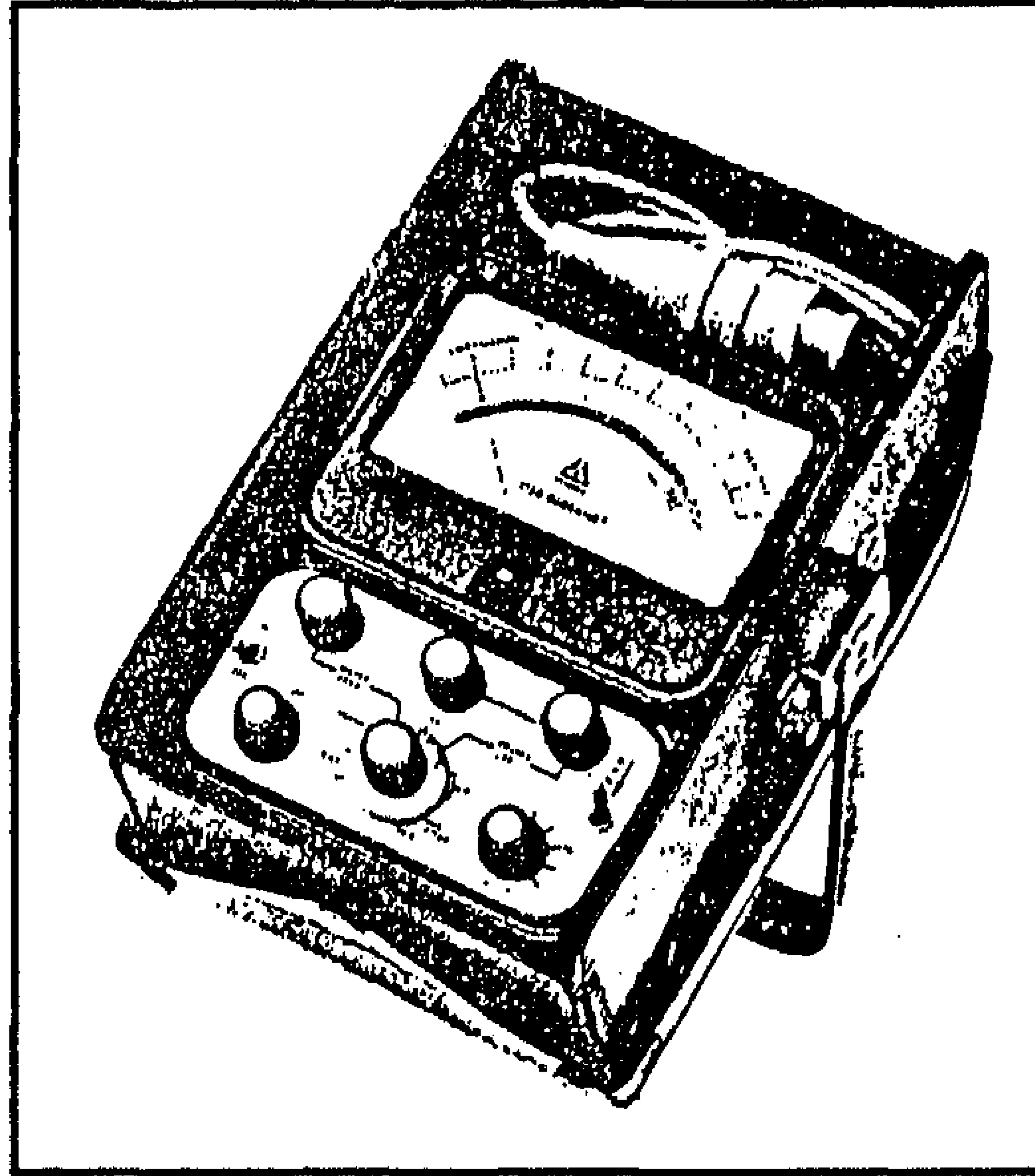
شنطة الجهاز بوصلة الكابل السفلى مخطط الجهاز



شكل (3/3) مخطط يوضح المحبس الثابت والقابل
للانكماش A مصدر الطاقة B وحدة القياس



شكل (3/4) توقيع البيانات من مجس مقياس التآكل



شكل (3/5) جهاز القطبين فى حافظة مع وصلة للقطب

لذلك إذا كانت قيمة K معروفة ، فإن قياس كمية التيار اللازمة لتغيير الجهد للعينة بكمية معلومة فإن ذلك يمكن من حساب تيار التآكل. الطريقة المباشرة لإمكان حساب معدل التآكل لعينة صلب بالملى فى العام هى بالمعادلة الآتية:

$$\text{MPY} \quad \frac{I_{coor}}{A} = \frac{0.46\ K}{\Delta E\ \text{Volts}} = \frac{I_{app}\ (\text{microamps})}{A\ (cm^2)}$$

حيث A = المساحة السطحية للعينة التى تتآكل.

يمكن استنتاج هذه المعادلة من العلاقة الأولية باستخدام قانون فارادى وحقيقة أن المعدل الذى عنده يذوب المعدن يسبب التآكل يتناسب مع تيار التآكل لوحدة مساحة السطح.

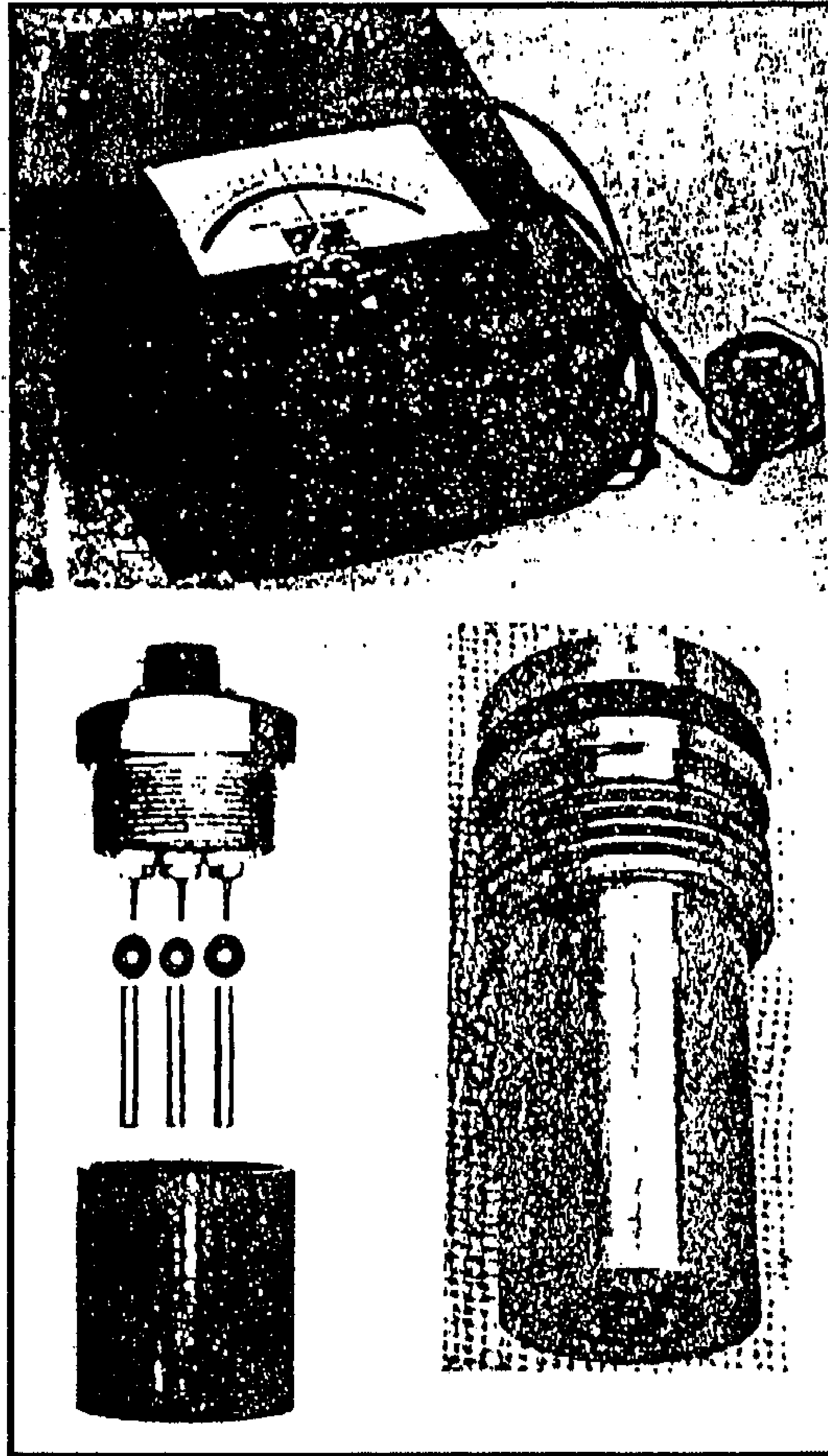
عملياً الثابت (0.46k) يمكن تعويضه بالجهاز، وكلا من عينة مساحة القطب (A) وحيود الجهد (ΔE) يتم وضعهم عند قيمة ثابتة. بذلك يمكن معايرة الجهاز للقراءة المباشرة لقيمة (MPY) .

أجهزة الاستقطاب الطولى متاحة بقطبين أو ثلاث أقطاب لقياس معدل التآكل. كذلك يوجد أشكال مختلفة من الأقطاب.

جهاز الكشف عن التآكل (Corrador) ومخطط الإنشاء والدائرة موضح فـى الشـكل (3/5) وضع المجس يكون مقلوظ للتثبيت فى المواسير أو الأوعية ومتصل بمقيـاس بواسـطة كابـل. القطبين فى شكل أعمدة تكون من المعدن المطلوب دراسته. يتم تعيين معدلات التآكل بقياس التيار المستخدم واللازم لاستقطاب الأقطاب إلى فرق جهد 20 مليفولت. يتم عندئذ عكـس الاسـتقطاب (Polarity Is Reversed) وتكرار العملية.

مقياس معدل التآكل بتروليت (Petrolite) وتجهيزات المجس موضـح فـى الشـكل (3/6). المقياس يحتوى على مصدر للتيار المستمر وفولتميتر ذو دخل عالى من فولتيـه معاوقة (High Input Impedance Voltmeter).

مصدر الطاقة يتم توصيله عبر اثنين من الأقطاب ، ويستخدم التيار الكافى لاستقطاب قطب الاختبار 10 مليفولت. يتم قياس جهد قطب الاختبار مقارنة بالقطب الثالـث الغيـر مستقطب ذو الفولتميتر عالى الدخول من الفولتيه المعاوقه. اسـتخدام تقنيـة الاسـتقطاب الطولى لقياسات معدل التآكل تكون فقط للمحاليل ذات التوصيل الكهربى ذلك لأن التيـار يجب أن يسرى من قطب إلى آخر خلال المحلول المستخدم للجهد لهذه الأجهزة . يجـب أن يلجأ إلى نصيحة المنتج بخصوص أداء الجهاز فى نظام محدد. القياسـات لا يمكـن عملها فى الزيت أو الغاز، يكون من الصعب أخذ قياسات يعتمد عليهـا فـى التـدفقات المتقطعة للغاز أو الزيت أو الماء، ولكن يمكن قياس عدوانية خليط الزيت – الماء إذا كان الماء هو فى المجال المستمر (Continous Phase) . عناصر القطب يكـن أن تصـبح قصيرة بمجال موصل للحصول على نتائج خاطئة . بمجرد تركيب الأقطاب فى النظـام فإنه يجب إعطائها الوقت الكافى للوصول إلى حالة الاتزان مع المجال المحيط قبل أخـذ القياسات. مجسات الاستقطاب الطولى يجب أن توضع بالطريقة التـى يمكنهـا إزالتهـا بسهولة بغرض النظافة والتفتيش والاستبدال.



شكل (3/6) مكونات مقياس معدل التآكل بتروليت

العلوى: حقيبة مقياس التآكل مع وصلة للمجس.

السفلى: المجس والأقطاب (يمين) مجس محمل (يسار)

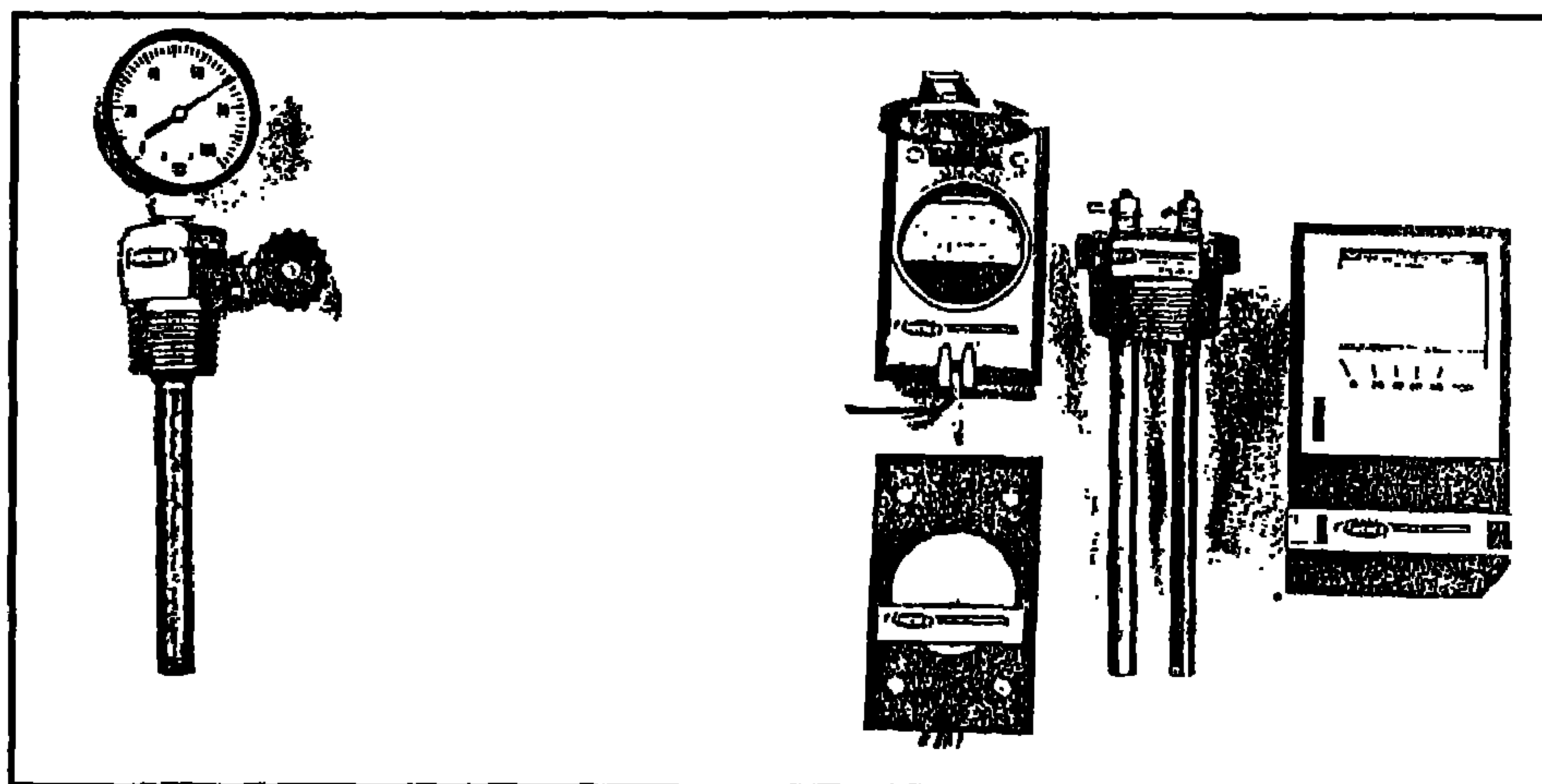
جـ- المجس الجلفنى : (Galvanic probe) :

يتكون المجس الجلفنى من زوج من الأقطاب مصنوعين من معادن مختلفة، عادة من الصلب ومن النحاس الأصفر (Brass) . يجب توصيل القطبين مع بعضهما باستمرار خلال مقياس أو مسجل، بينما يتم وضع القطب (Inserted) فى خزان ، أو وعاء، أو خط أنابيب. عند وصول الأقطاب إلى حالة الاتزان فى المجال الملاصق، فإنه يتم قراءة تدفق التيار فى الدائرة الكهربية الخارجية بواسطة ميكروأميتر. كمية تدفق التيار تتناسب مع

عدوانية التآكل وبيئة المجال الملاصق. فى المجال غير العدوانى يكون سريان التيار منخفض ، يقاس التيار العالى فى المجال العدوانى. تستخدم المجسات الجلفنية لمراجعة نوعية التغيرات فى معدل التآكل فى النظام. الشكل (3/7) يوضح تجهيز المجس الجلفنى.

حدود استخدام هذه الطريقة:

- ✓ تستخدم عادة لقياس تآكل الأكسجين المذاب أكثر من عدوانية ثانى أكسيد الكربون أو كبريتيد الهيدروجين فى آبار الزيت.
- ✓ وهى معرضة لنفس المعوقات بالنسبة لتراكمات البيولوجية مثل شرائح عينات قياس التآكل والمجسات الأخرى.



شكل (3/7) نموذج للمجس الحلقى موضحا 3 متر لقياس ميكروأمبير التيار المستمر وتجهيز المجس

شكل (3/8) مجس الهيدروجين

د- مجس الهيدروجين : Hydrogen Probe :

أبسط شكل لمجس الهيدروجين يتكون من أنبوبة صلب مفرغة ذات جدار رقيق والتى تكون ملحومة عند أحد النهايات ومجهزة بعداد ضغط عند النهاية الأخرى شكل (3/8).

تستخدم هذه المجسات أساساً فى النظم المحتوية على بعض من أيون الكبرتيد وتستفيد بحقيقة أن جزء من الهيدروجين الذرى (H^+) الناتج عن تفاعل التآكل سيتسرب خلال جدار الماسورة (خاصة فى حالة وجود كبريتيد الهيدروجين) بمجرد الوصول إلى

داخل فراغ الأنبوبة، ذرات الهيدروجين ستتحول إلى جزئيات الهيدروجين الغازى (H_2) والتى هى ضخمة جداً بحيث لا تستطيع التسرب ثانياً خلال جدار الأنبوبة. وبذا، فإن الضغط داخل الأنبوبة سيرتفع بنسبة كمية الهيدروجين الموجودة فى الأنبوبة والذى هو دلالة لكمية الهيدروجين الناتجة عن تفاعل التآكل. مجس الهيدروجين عبارة عن أداة نوعية أو نسبة نوعية والتى يمكن أن تستخدم مع تقنيات أخرى لقياس معدل التآكل. وهذه استخدمت عادة فى النظم الحامضية (Sour – المحتوية على H_2S) كما زاد استخدامها فى النظم الخالية من الكبريت (Sweet) كذلك. ولكن فى عدم وجود السلفيد تكون الحساسية أقل كثيراً.

4- الطرق الكيماوية : (Chemical Methods) :

أ- الحديد المذاب :

أحد الطرق لتعيين التآكل وتقدير تأثير مقاومته هو بقياس محتوى الحديد فى السائل. دراسة المحتوى من الأيونات يمكن تقسيمه إلى ثلاث خطوات أساسية: وهى أخذ العينات، التحليل ، التقييم والتفسير.

أخذ العينات هو الخطوة الهامة ذلك لأن تقييم الاستفادة من الدراسة يتوقف على دقة البيانات. يجب مراعاة الآتى عند جمع العينات التقدير المحتوى من الحديد.

1. نظافة وعاء العينة هام جداً، حيث يجب أن يكون نظيفاً وخالى من الحديد. أوانى حفظ الفاكهة القياسية مناسبة لأخذ العينات. ولكن الغطاء الأحمر من المطاط يحتوى على إضافات من أكسيد الحديد. توجد سدادات بدون حشوه منع التسرب حيث يمكن حشر النيوبرين فى السدادة. (وهذا كذلك يمنع الالتصاق بين سوائل البئر وغطاء المعدن).
2. محبس – العينة يجب أن يكون خالى من الصدأ والترسيبات. يتم ما أمكن إزالة أى وصلات مقلوظة أو وصلات أخرى تحت التيار لمحبس العينة والذى يكون مفتوح للهواء. أحد التقنيات المؤثرة فى المساعدة فى أخذ العينات هى باستخدام الوصلات للعينة من النحاس الأصفر الملولبة فى مجس العينة. هذه الوصلات تعمل على خفض الطرطشة واستبدال وصلات الحديد التى صدأت فى الهواء. ينصح أحياناً بغسيل مجس

العينة. يمكن استخدام حامض الهيدروكلوريك المخفف في إناء غسيل من البلاستك لشطف (غسيل) حبيبات أكسيد الحديد من المجس قبل فتحه لأخذ العينة.

3. يتم غسيل مجس العينة والوصلات المقلوظة فوق التيار تماماً. ذلك لأن المطلوب عادة أن تكون العينة ممثلة السائل المتدفق، يتم غسيل الوصلات بتدفقات المياه (Flushed) لتأكيد أن العينة من سائل طازج، مع عدم وجود سائل مكثف فى الفراغ الميت فى الوصلة المقلوظة أو السدادة.

4. يتم تجنب الطرطشة والفائض عن حد ملئ الإناء عند جمع العينة لتحليل الحديد. الحديد فى المحلول قد يتأكسد عند الجمع أو أن يتم حمل جسيمات من نواتج التآكل فى السائل. الطرطشة وفائض حد الملئ للوعاء يعمل على تركيز هذه المواد الصلبة بما ينتج عنه نتائج خاطئة.

5. قبل كل شيء، يجب أن تكون العينة ممثلة للسائل ولا تكون ملوثة برواسب الصدأ.. الخ حول محبس العينة.

تم التأكيد على النظافة والغسيل بدفع الماء ذلك لأنه من السهل تلوث العينة بالحديد. حتى فى أسوأ الظروف يمكن أن يكون موجود فقط عدة مئات من أجزاء الحديد فى مليون جزء من الماء، وعادة يتم العمل فى مجال 20 جزء فى المليون. قطعة من أكسيد الحديد (صدأ) فى حجم رأس الدبوس الكبير المذابة فى 8/1 جالون من السائل تعادل حوالى 10 جزء فى المليون من الحديد . لذلك فإنه من السهل جداً تلوث العينة بترك الصدأ والترسيبات لدخولها نتيجة الإهمال . عادة الماء فى العينة يتحول إلى الأحمر أو يلون الصدأ عند جمعه ، أو بعد جمعه مباشرة . وهذا عادة يعنى أن الحديد الذى كان مذاباً فى العينة يكون تم تفاعله مع الهواء ليكون أكسيد الحديد. فى حالة التحول إلى اللون الأسود يمكن وجود وتكون كبريتيد الحديد (رغم أن بعض أكاسيد الحديد هى كذلك سوداء). لمنع تكون أكسيد الحديد أو كبريتيد الحديد من أن يتكون فى العينة فإنه يمكن جمعه بحامض فى الوعاء. توجد طرق متعددة لتحليل الحديد فى السائل. بعض هذه الطرق يمكن استخدامه فى الموقع، والبعض الآخر يستخدم فقط فى المعمل. عند البدء فى دراسة

المحتوى من الحديد فى مساحة جديدة، يكون الضرورى عمل بعض المراجعات لطريقة التحليل مع السائل الجديد، ذلك لأن مواد أخرى مذابة يمكن أن تؤثر على تحليل الحديد.

وأخيراً، من الطبيعى تقييم البيانات فى آبار الغاز حيث ينتج فقط كميات صغيرة من الماء ، فإنه عادة يكفى استخدام المحتوى من الحديد كما هو، لمقارنة المحتوى من الحديد من عينة لعينة أو بئر إلى بئر. فى النظم حيث تنتج كميات كبيرة من السوائل ، عادة يتم تحويل عدد الحديد إلى أرطال الحديد فى اليوم كأساس. ذلك مع الأخذ فى الاعتبار حجم السوائل المنتجة. أحجام السوائل تزداد عادة يوماً بعد يوم خلال فترة زمنية بسبب زيادة إنتاج المياه أو التغير فى حالات الرفع. كذلك فإن الحجم اليومى يتغير من بئر إلى بئر فى نفس فترة التشغيل (Lease). عند تقدير نتائج المحتوى من الحديد، فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عوامل أخرى مثل:

1. ما هى طول فترة إنتاج البئر قبل أخذ العينة؟ إذا أخذت العينة بمجرد بعد بدء التشغيل ثم بعد الإنتاج لعدة أيام، فإن محتوى الحديد يمكن أن يكون مختلف.
2. هل حدث عمل ما فى البئر قريباً؟ فإذا حدث تغير فى تغير معدات البئر خلال عدة أيام قبل أخذ العينات، فإن المحتوى من الحديد يمكن أن يكون أعلا عن العادى حتى فى حالة الآبار المثبطة بنجاح بسبب تفكك الترسيبات ... الخ عند تحريك المعدة داخل وخارج فتحة البئر.
3. هل الماء له نفس مكونات الأملاح المعدنية فى كل وقت تؤخذ منه العينة؟ يبدو أن ذلك هاماً وخاصة فى آبار الغاز. ومعظم المياه فى العمر الأولى لبئر الغاز يسمى الماء المكثف (Condensed Water) أى هذا الماء كان بخاراً فى الخزان وعند قاع البئر. عند صعود البخار إلى السطح، فإن تغيرات درجة الحرارة والضغط تعمل على تكثيف هذا البخار. عند إذابة البخار فإن الغازات الحامضية تذوب فى السائل حيث يمكن للتآكل أن يحدث ، وهذا هو الماء الذى تؤخذ منه العينة والحديد هو ناتج عن التآكل. فى كثير من آبار الغاز يمكن إنتاج مياه التكوينات الأرضية مع المياه المكثفة. ماء التكوينات الأرضية عادة مالح ويحتوى على كثير من الأملاح المعدنية.

حتى أنه يمكن أن يحتوى على حديد من التربة. ولكن لسوء الحظ فإن كمية مياه التربة فى إجمالى الماء المنتج عادة ليست ثابتة.

4. أحد العينات من بئر يمكن تحليلها كمياه مكثفة نقية، واليوم التالى يمكن أن تكون معظم العينة ماء التربة. كما هو واضح، إذا كان ماء التربة محتوياً على حديد مذاب من التربة، فإن هذا الحديد سيتم تحليله مع الحديد من التآكل وأن عد الحديد سيكون أعلا عن العادى. مياه مخلفات الحامض الناتج عن معالجة البئر بالحامض قد تحتوى كذلك على كميات كبيرة من الحديد الذى أذابها الحديد من التربة.

5. من أين تؤخذ العينات من النظام؟ وهل كانت كل العينات من نفس المكان؟ كما يمكن تصوره، فإن ذلك يمكن أن يكون هاماً عندما تكون المياه شديدة العدوانية، ذلك لأن محتوى الحديد يمكن أن يتغير طبقاً لكمية الصلب التى تلتصق بها. عند دراسة تآكل الآبار، من المفضل دائماً الحصول على عينات المحتوى من الحديد قريباً من رأس البئر كلما أمكن ذلك.

توجد أنواع مختلفة من نظام أخذ العينات من رأس البئر. فى آبار الزيت، يكفى فقط توفير محبس تسرب. فى حالة آبار الغاز يكون من الضرورى عادة توفر وعاء أخذ العينات من نوع ما لجمع المياه. توجد أشياء كثرة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند تقدير محتوى الحديد وهذه تختلف من حقل إلى آخر. رغم الاختلافات الكثيرة، إلا أن محتوى الحديد هو أحد أهم الأدوات المفيدة. وهذا حقيقى تحديداً عند تقدير تأثير برنامج مثبط التآكل حيث خفض المحتوى من الحديد عن مستوى المعالجة المسبقة يظهر نجاح التحكم.

تحليل ناتج التآكل : (Corrosion product Analysis) :

التحليل الكيماوى لعينات نواتج التآكل والترسيبات من النظام يمكن أن يكون جزء هام من برنامج التحكم. العينات يمكن أن تؤخذ مباشرة من المعدة أو من شرائح عينات الاختبار أو من وصلات الاختبار المقلوظة (Nipples). معرفة مكونات هذه الترسيبات يساعد فى تقدير نوع المشكلة واكتشاف التغيرات فى النظام. للدقة، فإن التحاليل يجب أن تتم فى المعمل.

ثانياً، جمع وتداول العينة هام بالنسبة للتقدير المناسب للنتائج. إنه يكون من المفيد جداً إذا كان الشخص المنوط به أخذ العينات يقوم بتوفير التفاصيل الكاملة عن ظروف وأماكن العينات.

عينات نواتج التآكل يمكن أن تتغير كيماوياً بمجرد سحبها، فمثلاً،عند التصاق كبريتيد الحديد بالهواء الجوى فإنه يبدأ فى الأكسدة والتحول إلى أكسيد الحديد. العينة التى كانت سوداء لوجود كبريتيد الحديد عند جمعها يمكن أن تكون حمراء – بنى من أكسيد الحديديك عند وصولها إلى المعمل . لذلك ، فإن لون العينة عند توقيت الجمع يصبح من المعلومات الهامة.

تحليل الغاز : (Gas Analysis) :

أهم الغازات بالنسبة للتآكل هى كبريتيد الهيدروجين، ثانى أكسيد الكربون، الأكسجين. درجة الأهمية وبذا المراقبه المطلوبة ستتغير طبقاً للنظام. فى حالة بئر الغاز أو تطبيقات تداول الغاز، فإن تعيين تركيزات هذه الغازات (O_2 , CO_2 , H_2S) يعتبر روتينى عند وجودهم بكميات كبيرة. كميات قليلة جداً من كبريتيد الهيدروجين والأكسجين من الصعب كشفهم ولكن يمكن أن يكونوا بأهمية بالغة– فمثلاً، آثار قليلة من H_2S يمكن أن تسبب التشقق للصلب عالى القوة. فى آبار الزيت القياسات يمكن أن تكون أكثر صعوبة والعامل الهام هو وجود أو عدم وجود الغاز. فى نظم المياه تصبح الغازات المذابة بالغة الأهمية ورصد O_2 , H_2S من بين الجزء الحساس فى تصبح الأعطال والتحكم. الاختبارات الحقلية متاحة للكشف عن محتوى كبريتيد الهيدروجين بسهولة. والآن أصبح مقياس الأكسيجين بدقة فى الموقع متاح فى معظم النظم. كما هو الحال بالأدوات التخصصية فإن الخبرة تعتبر هام جداً فى الحصول على البيانات وتقييم النتائج.

نشاط البكتريا : (Bacterial Activity) :

نشاط البكتريا يمكن أن يسبب عدد من المشاكل وخاصة فى نظم تداول المياه. من هذه المشاكل التراكم البيولوجى أو الترسيبات البيولوجية التى تسبب التآكل الثقبى – وكذلك النشاط اللاهوائى للبكتريا فى حالة النهايات الميتة وانخفاض معدلات التدفق وعدم وجود

الأكسجين حيث تنشط البكتريا المختزلة للكبريتات منتجة كبريتيد الهيدروجين المسبب للتآكل.

اختبارات المثبط : Inhibitor Tests :

تعيين تركيز المثبط فى السائل من الاختبارات المفيدة. توجد طرق تحليلية لتعيين كمية المثبط فى النظام. لبعض المواد يكون التحليل الكيماوى مطلوب والمواد أخرى يمكن استخدام اختبار حقلى بسيط لتعيين وجود أو تركيز المثبط فى تدفق السائل. وهذا ما يسمى باختبار أيون النحاس "Copper Ion-Test" والذى يستخدم لتعيين وجود المثبط فى سوائل البئر. فى هذه الحالة شريحة عينة الاختبار للمعدن المعرض للسوائل يتم غمرها فى محلول نحاس. فى حالة أو حيثما وجدت طبقة من المثبط، فإنه سوف لا يرسب النحاس. النحاس سوف يرسب على الصلب الغير مغطى فى العينة. وبذا يمكن عمل اختبار تآكل مبدئى بالنسبة لوجود المثبط أو تأثيره.

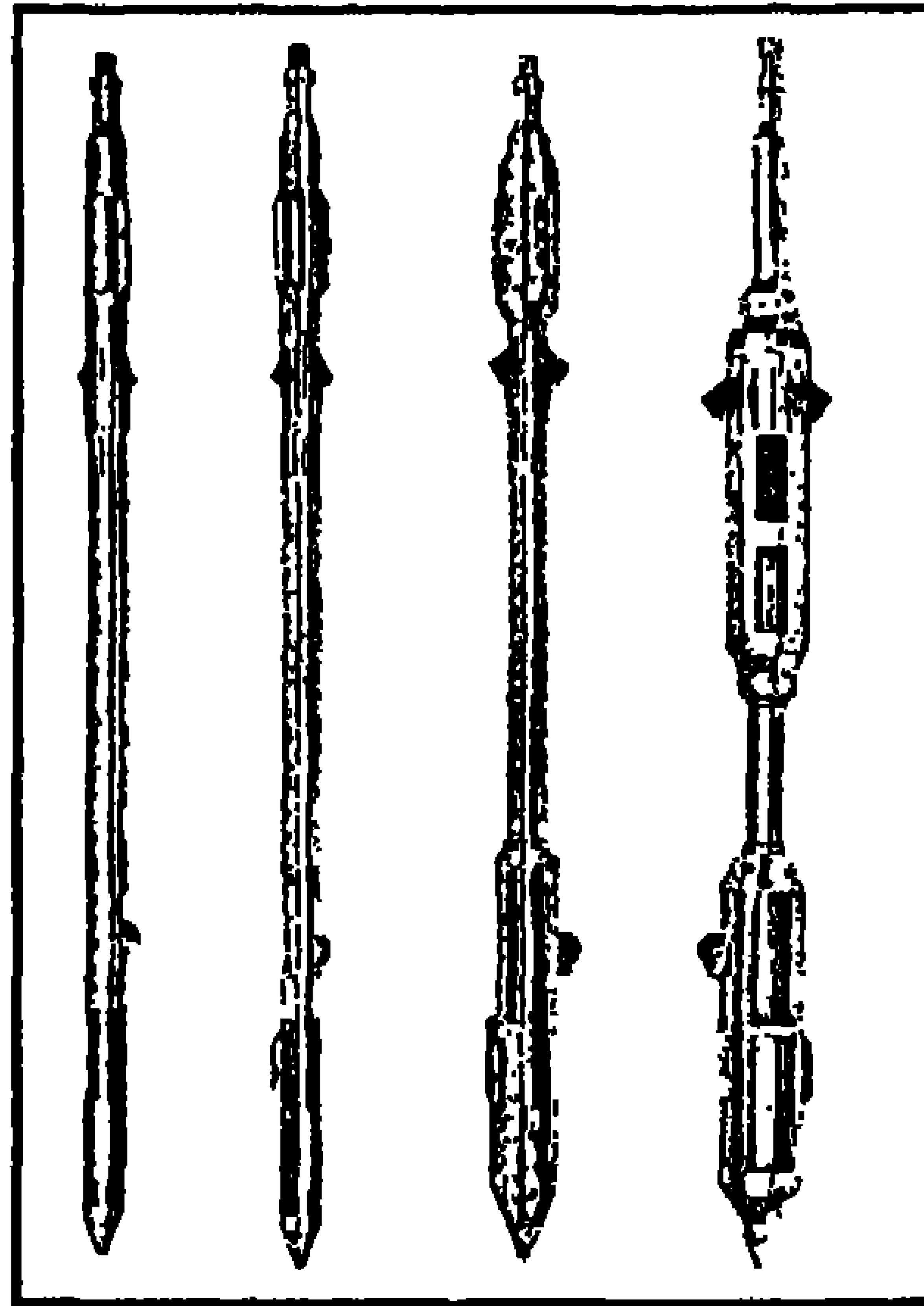
5- أدوات التفتيش : (Inspection Tools) :

أ- التفتيش أسفل البئر : (Downhole Inspection)

تتوفر أدوات كثيرة لقياس الفقد فى المعدن فى المواسير والقيسونات أسفل البئر. بعضها يكشف التآكل الداخلى أو الفقد فى المعدن وبعضها يقيس سمك الجدار بدون التمييز بين التآكل الداخلى أو الخارجى.

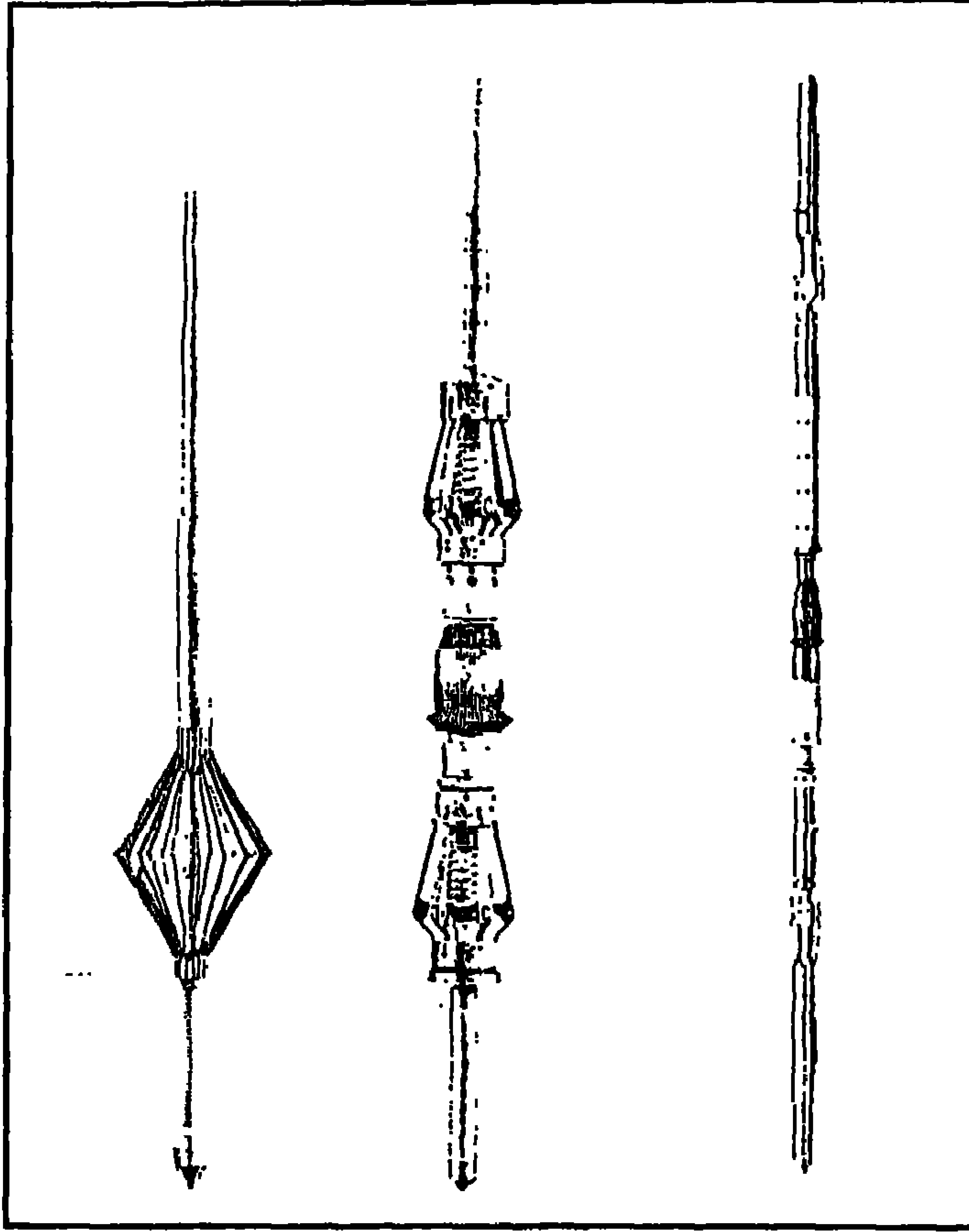
(أ) قياس السماكة للتآكل بآلة ذات الفكين : (Profile Type Corrosion Caliper)

قياس سمك التآكل بجهاز القياس للمباحث السفلية للبئر زاد استخدامها لسنين كثيرة. المعيار الداخلى يقيس القطر الداخلى للمواسير أو القيسونات موضحاً التآكل العام أو التآكل الثقبى. استخدمت الأداة أصلاً للكشف عن التآكل فى آبار الغاز التى تعمل بالتفريغ والتى تعمل بالرفع. ولكن استخدامها إمتد لبعض التطبيقات مثل القياس الفورى لبرى المواسير والتآكل فى قضيب ضخ الآبار. أعمال الاستطلاع فى بئر الضخ تمكن العامل من تصنيف حالة ونوع المواسير. المواسير القديمة يمكن وضعها جانباً بينما المقاطع المفيدة يمكن إعادة تنظيمها لامتداد عمر عامود المواسير.



شكل (3/9) يسار أدنى قطر داخلى للقيود. وسط مقياس سمك القيود.
يمين مقياس سمك المواسير

معايير القياس الداخلى للمواسير والقيسونات موضحة فى الشكل (3/9) طبقاً لقطر المواسير يوجد من 26 إلى 44 مستشعر (Feelers) حول المحيط الخارجى للأداة الذى يكشف عدم الانتظامات الصغيرة (Small Irrigularities) . معايير القياس للقيسون لها 40 إلى 64 مستشعر. المستشعرات تمتد إلى الجزء فى القضيب (Rodscore) أو الثقب وتغير ميكانيكياً الوضع على البوتنشيوميتر (Potentiometer) فوق تجهيز المستشعرات. ينقل التغير خلال كابل توصيل إلى السطح حيث يتم التسجيل للبيان بصفة مستمرة على مخطط.



شكل (3/10) مقاييس التخارنة (Kinley) من اليسار إلى اليمين 2، 2.5 ، 3 بوصة للمواسير" للقيسون 5 بوصة. التسجيلات من كل من الـ 15 مستشعر يكون مسجل داخلياً لكل دورة حتى 14000 قدم.

الشكل (3/10) يوضح أشكال مختلفه لمعيار كينلى الميكروسكوبى (Kinley) المصمم للعمل فى مواسير 2-3 بوصة، وقيسونات 5 بوصة. توجد أقطار مختلفة أخرى وكذلك معدة خاصة للآبار المنتجة لكبرتيد الهيدروجين. هذه المعدة تستخدم 15 مستشعر وينتج طابعة تسجيل عليها كل البيانات منها الوصلات، الحلقات وعلامات الالتقاط (Tong Marks) ، وتأثيرات داخلية أخرى يتم تسجيلها. الجهاز مصمم بطريقة ليمكنه تجنب كثيراً من المشاكل التى تصادفها أجهزة أخرى. يمكن العمل حتى طول 14000 قدم والتسجيل يوفر التمييز بين التآكل الحلقى والخطى، الثقوب المعزولة وأشكال التآكل

الأخرى. المباحث باستخدام المعيار (Caliper) له قيمة كبيره عند استخدامه على أساس المقارنة لتعيين تأثير برنامج مثبط التآكل . يجب عمل لمحة تاريخية على الخلفية قبل بدء البرنامج، وهذه يليها استطلاع حقلى باستخدام المعيار وذلك بعد مرور فترة زمنية مناسبة. من خلال حدود الأداة هذا الاستطلاع هو قياس مباشر لتقدم التآكل فى المعدة تحت السطح.

حدود الاستخدام كالآتى :

1. نواتج التآكل والترسيبات قد تخفى الثقوب. كلما أمكن يتم تحميض البئر قبل عمل استطلاع المعيار فى حالة معرفة وجود مشاكل قشور وترسيبات فى البئر.
2. بعض الثقوب يمكن تخطيها بسبب الفواصل بين المستشعرات ، ولكن يتم تقييم الحالة العامة للمواسير.
3. المواسير المبطنة بالبلاستك يمكن أن تتلف عند استخدام معيار المباحث. وهذا يتطلب مراجعة المنتج.
4. مستشعرات المعيار يمكن أن تزيل ترسيبات الحماية أو طبقة المثبط من المواسير. فى حالة عودة استخدام البئر للعمل بدون المعالجة الفورية بمثبط التآكل، فإنه يمكن حدوث ظاهرة تعرف بتآكل مسار المعيار (Caliper Track Corrosion).

ب- جهاز كشف تآكل القيسون الكهرومغناطيسى

Electromagnetic Casing Corrosion Detector:

جهاز كشف تآكل القيسون الكهرومغناطيسى يقيس سمك جدار القيسون ويوفر بيان عن المساحات التى حدث بها تآكل ، وكذلك التسرب والثقوب. يتم إدخال تيار متغير خلال ملف التوليد فيض مغناطيسى (Magnetic flux) يمر الفيض المغناطيسى إلى الخارج خلال القيسون وجزء يمر إلى الخلف خلال القيسون إلى المستقبل. حيث أن الفيض يخترق الصلب فإنه يخف ويتوهن ويتغير شكله. كلما زاد سمك المعدن ذاد الضعف والتغير فى الشكل . الأداة سبق معايرتها مع قيون سميك الجدار ورقيق الجدار بسماكة معلومة.

الفقد الداخلى أو الخارجى للمعدن من القيسون خلال مجال الحساسية للجهاز يتم كشفه. الإدارة يمكن استخدمها فى وجود أو عدم وجود السوائل ولا تتأثر بالترسيبات القشرية أو الأسمنت.

حدود الاستخدام هى كالآتى :

1. لا يمكن عمل التفرقة بين التآكل (فقد المعدن) على داخل أو خارج القيسون.
2. الثقوب ذات القطر أصغر من حوالى بوصة لا يمكن كشفها بسرعة بالجهاز.
3. التغير فى سمك جدار القيسون بسبب التجاوز فى التصنيع ، التغير فى النفاذية المغناطيسية والعوامل الأخرى يمكن أن ينتج سجل (Log) يصعب تفسيره. ينصح بعمل سجل على جدار جديد كمؤشر لإمكان استنتاج تآكل القيسون من التاريخ السابق فى المنطقة.

جـ- آلة قياس السماكة للقيسون الاليكترونية ذات الفكين :

Electronic Casing Caliper

جهاز قياس السمك الإليكترونى يختلف عن المقياس للسمك الاليكتروميكانيكى فى أنه يستخدم أداة كهرومغناطيسية لقياس القطر الداخلى للقيسون بدون استخدام مستشعرات (Feelers) تلتصق بسطح المعدن. القطر الداخلى يتم قياسه على طول الـ 2 بوصة، والبيان عن متوسط القطر تنتقل إلى السطح خلال سلك موصل. المقياس تحديداً حساس للشقوق الرأسية أو الثقوب ولكنه يكتشف كذلك ثقوب أو حفر بقطر حوالى 1 بوصة. الأداة معايرة مسبقاً مع جلبة القيسون لتآكيد الدقة فى كل دورة. حدود هذه الأداة الآتى:

- ✓ الثقوب والحفر بقطر أقل من 1 بوصة لا يمكن كشفها.
- ✓ يتم عمل سجل تاريخى على الورش لأغراض الاسترشاد قبل حدوث التآكل.

د- الجمع ما بين المقياس ذو الفكين، أداة القيسون الإلكيترومغناطيسية:

Caliper and Electromagnetic Casing Tool Combination:

الجمع بين أداة تآكل القيسون الكهرومغناطيسية ومقياس قياس السمك ذو الفكين الكهروميكانيكى أو الإليكترونى يوفر صورة واضحة لحالة القيسون فى البئر. هذا الجمع

سوف يفرق ما بين التآكل الداخلى والخارجى حتى فى حالة عدم اختراقه لجدار القيسون. استخدام الجمع بين التقنيتين يوصى به عن أداة القيسون الكهرومغناطيسية فقط ذلك لأنـــه من الضرورى تعيين ما إذا كان التآكل داخلى أو خارجى ذلك لإمكان توصيف إجراءات الحماية.

التعرف الكهرومغناطيسى على تآكل القيسون :

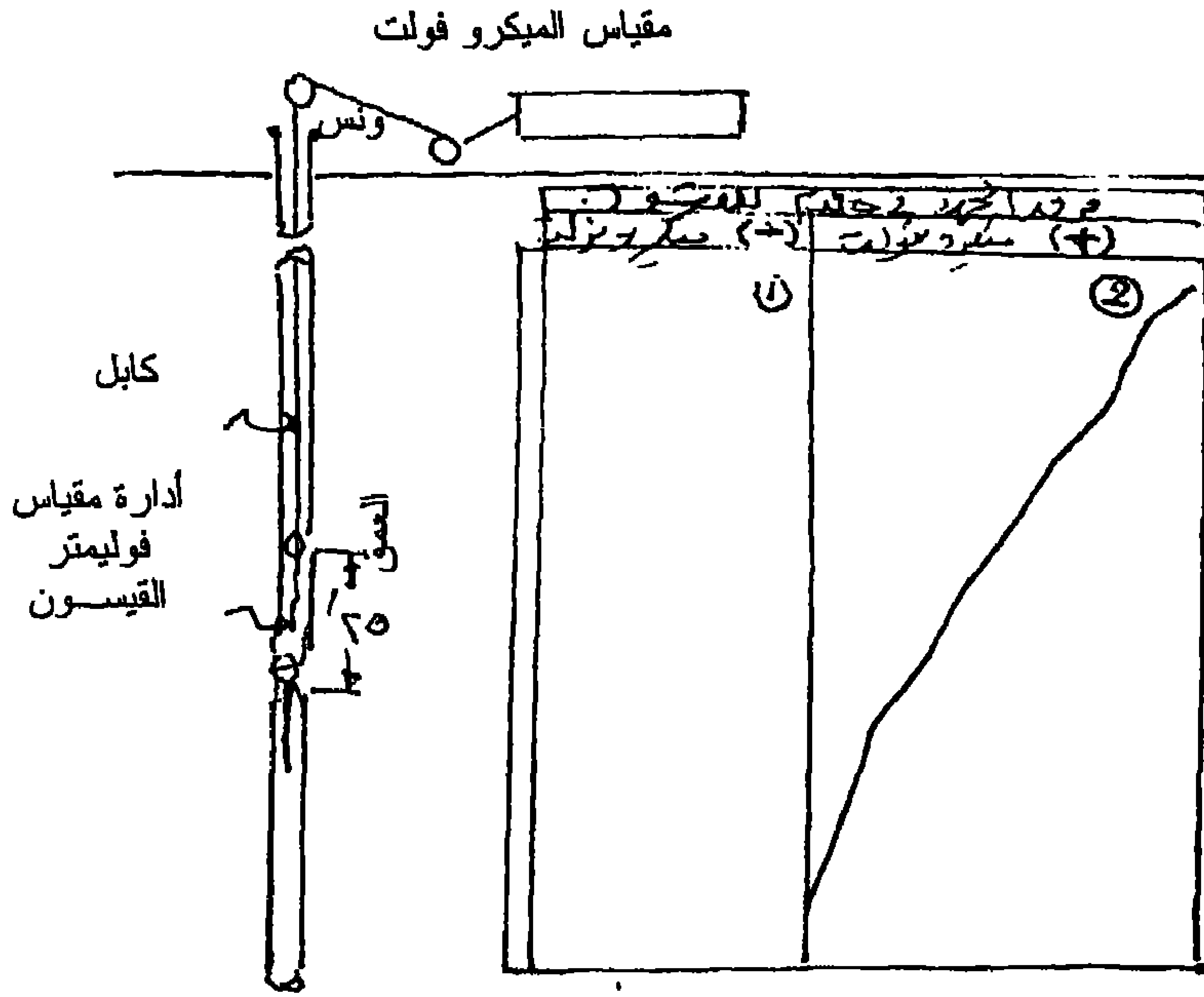
Electromagnetic Identification of Casing Attack:

أداة التفتيش مصممة لتوفير تفسيراً كهرومغناطيسية لتسجيل البيانات وإمكان التعرف على التآكل ، مع التفريق ما بين الشذوذ المحيطى الداخلى والخارجى والمعزول. الجهاز يوفر 4 قنوات للتسجيل ، منهم قناتين تعرف بقناتى مقدار التســرب (Flux Leakage) ، قناة التمييز والتى تسجل عندما يكون الشذوذ داخل القيسون والقناة الرابعة التـــى تســجل المتوسط. قناة المتوسط هى التى تحدد سواء كان الشذوذ محيطى أم لا.

بيانات أساسية مختلفة متعلقة بالبئر مثل قطر ووزن ودرجة القيسون ، وقطر وأطوال عامود المواسير ومعلومات أخرى ، كل هذا مطلوب لتفسير التسجيل. بعد توصيل بيانات التسجيل (Log) ، فإن التفسير يمكن توضيح تقسيم التلف لكل وصلة، نســبة الاختــراق، وتأثيرات أخرى. مقارنة التسجيلات المتتالية تمكن من تقدير معدل التآكل عند كل وصلة.

أداة تقدير جهد القيسون: (Casing Potential Profile Test) :

أداة تقدير جهد القيسون شكل (3 /11) تقوم بجزء هام فى التحكم فى تآكل القيسون. هذه الأداة تتكون من مجموعتين زمبرك حامل لملامســين ســكينة (Spring Loaded contactor knives) والتى تكون عادة بفاصل 25 قدم. مجموعــات الســكاكين هــذه معزولة عن بعضها البعض وعن جسم الأداة نفسه. أسلاك توصيل من السكاكين تكــون متصلة بوحدة ميكروفولتميتر (Microvoltmeter) عند السطح. يتم وضع الجهــاز عنــد العمق المطلوب ، يتم وضع الساكين لعمل توصيل كهربائى جيد مع جدار القيسون وتؤخذ القراءات للفولت بين السكاكين. هذا الفولت هو الخفض (TR) فى طول 25 قدم للقيســون بسبب سريان التيار إما إلى أعلا أو إلى أسفل ، وكمية الخفض فى قيمة (IR) (حيث أن المقاومة R لجدار القيسون يفترض أنها ثابتة على طول عامود القيسون كله بنفس الدرجة والحجم) تتناسب مع كمية التيار السارى. استقطاب الجهد المقاس عند السطح توضح مــا إذا كان تدفق التيار لأعلا أم إلى أسفل.



شكل (3/11) تسجيل فولت القوين الذى يوفر المناطق الأنودية والكاثودية فى القيسون المنحنى (1) بدون تيار مسلط (2) الفولت بعد التغذية بالتيار

يأخذ عدة قراءات متتالية على مراحل مثلاً 50 قدم ، وتوصيل النقط يتم الحصول على منحنى والذى يمكن تقسيمه لتوفير عديد من المعلومات.

المنحنى رقم 1 فى الشكل (3/11) مثال للتسجيل الذى يمكن الحصول عليه فى القيسون تحت ما يسمى "الحالة الطبيعية" (Native State Condition) أى بدون استخدام تيار خارجى للحماية الكاثودية.

بدءاً بقراءات السجل من أعلا إلى النقطة (A) على المنحنى (1) ، هذه القراءات حيث أن استقطابها سالب، يتبين أن التيار يسرى أسفل القيسون. حيث أن ميول المنحنى فى اتجاه أكثر سلباً (متقدمة نحو النقطة A) ، هذا يعنى أن كل قراءة متتالية تبين أن التيار يكون داخلاً إلى القيسون من المكونات للتربة ، وبذا فإن هذا الجزء من القيسون يصمم ليكون منطقة كاثودية ، أو المساحة حيث يدخل فيها التيار. من النقطة (A) إلى صفر المحور للتسجيل (Zero Axis of log) ، يتغير الميل نحو الاتجاه الموجب ، مبيناً أن التيار يكون تاركاً القيسون ، وأنه لذلك فإن هذا الجزء من القيسون هو منطقة آنودية ، أو

المساحة حيث يكون التيار تاركاً القيسون. عندما يقطع المنحنى صفر المحور للتسجيل، لا يكون هناك تيار يسرى. من هذه النقطة إلى النقطة (B) فإن القراءات ، حيث أنها على الجانب الموجب، تبين أن التيار يسرى أعلا القيسون ، ونظراً لأن كل قراءة تالية يتبين زيادة سريان التيار، فإن البيان كذلك هو أن النقطة أنودية. من النقطة (B) إلى القاع ، ينقلب الميل ، وهذا تبين كذلك أن المساحة للقيسون تكون مساحة كاثودية ، حيث يكون دخول التيار. بإيجاز الحالة المحلية للتسجيل لهذا البئر يتبين عموماً أن المنطقة من النقطة (A) إلى النقطة (B) هى المنطقة حيث يخرج التيار من القيسون ، أو المنطقة الأنودية وهذه حيث يحدث التآكل. عند ترك التيار لسطح المعدن ليدخل فى الأليكتوليت ، بأنه توجد علاقة محددة بين كمية التيار الخارج وكمية الفقد فى المعدن. فى حالة قيسون المعدن حيث يترك التيار ليدخل الأليكتروليت (الأرض) ، كل أمبير من التيار التارك ينتج عنه فقط – 20 رطل من الصلب فى فترة زمنية لمدة عام. المثال الموضح هو مبسط جداً ، حيث يوجد عديد من المناطق الأنودية فى قيسون معين. كذلك ، فإن الفاصل 25 قدم للسكاكين فى الأداة لا يوفر احتمال وجود خلايا تآكل صغيرة ، ويبين فقط تلك المساحات الأنودية الممتدة على فترات أطول من الماسورة. ولكن الشكل العام لفولت التسجيل للقيسون يوفر لمهندس التآكل صورة عامة هامة جداً عما يحدث على خارج القيسون.

تفتيش المعدة السطحية : (Inspection of Surface Equipment) :

التفتيش الفوق سمعى : (Ultrasonic)

تفنيات التفتيش الفوق سمعى يستخدم الطاقة الفوق سمعية لقياس سمك معدن الغرض وتحديد العيوب والشقوق فى المعدن. الموجات الفوق صوتية هى ذات نفس طبيعة الموجات الصوتية العادية. تتوقف سرعة الموجات فوق الصوتية على خواص المجال ولكن تكون عادة مثل الموجات الصوتية فى المجال.

الموجات فوق الصوتية يتم توليدها بمحولات الطاقة (Transducers) التى تنقل الإشارة الكهربية ذات التردد العالى المستخدمة إلى طاقة ميكانيكية عالية التردد. محولات

الضغط الإجهاد (Piezoelectric Transducers) من الكوارتز، مواد السيراميك أو البلورية المخلقة تستخدم غالباً فى العمل الفوق صوتى. مواد الإجهاد أو الضغط الصوتى قادرة على التمدد والانكماش عند وضعها تحت تأثير تغير المجال الكهربى، وبالعكس فإنها تنتج جهد كهربى عند وضعها تحت إجهاد ميكانيكى. لذلك، فإن مثل هذه المحولات يمكن أن تستخدم فى كل من خلق والكشف عن الطاقة فوق السمعية.

فى التفتيش الفوق سمعى يتم توليد موجة صوتية بواسطة محول والتى تنقل خلال السائل إلى العينة. الموجات الفوق سمعية ستسير خلال العينة حتى تقابل السطح الداخلى أو عدم الاستمرار، أو عادة السطح المعاكس للقطعة. هذه الموجة السمعية المنعكسة تستقبل وتتحول إلى نبضة كهربية بواسطة المحول. يتم إسقاط النبضة على أنبوبة التحليل لشعاع الكاثود (Cathode Ray Tube Screen) كإزاحة رأسية من خط الصفر على الشبكة الأرضية (Graticule). الفترة ما بين النبض الأولى وأول إنعكاس يتناسب مع مسافة رحلة الموجة الصوتية. هذه المسافة تساوى ضعف سمك العينة أو ضعف المسافة إلى عدم الاستمرار (Discontinuily). الموجات الصوتية المنعكسة تتحول إلى نبضات كهربية على أنبوب تحليل شعاع الكاثود، مكونة نقاط (Pips). المسافة بين الإنعكاسات تعاير على سمك معلوم وتقرأ مباشرة من الشبكة الخطية (Graticule) شكل (3/12). المسافة بين الانعكاسات يتم معايرتها على الشبكة الخطية بواسطة كتل درجات السلم شكل (3/13) لسمك مصنع. بمجرد قياس السمك المعلوم وضبطه على المصفاة (مصفاة التحليل -Screen) يمكن بعد ذلك بدء القياس على العينة، بقراءة السمك مباشرة على الشبكة الخطية. يوجد كذلك قراءة رقمية مباشرة.

التقنية التى وصفت تعرف بتقنية نبضة الصدى (Pulse Echo) وهى تستخدم عادة لقياس كل من السمك والكشف عن العيوب. توجد وحدات محمولة ذات الوزن الخفيف للاستخدام فى الموقع. صورة نموذجية أخذت من الكاشف الفوق سمعى موضحة فى الشكل (3/14) حيث الفرق فى المسافات d1 , d2 يعكس مكان العيب. وجود سريان الصدى على مسافة d1 يمكن كذلك أن يمثل شرخ فى المعدن المختبر. القياسات على معدة جديدة يتم عملها مع تركيبها وتصنف كمعيار. أثناء حياة قطعة المعدة، تعمل

القراءات عند نفس الأماكن تماماً كما كانت تستخدم للحصول على قراءات أساسية. مقارنة القراءات توفر مقياس لدرجة التقدم للتآكل.

حدود استخدام هذه الطريقة:

1. الأسطح يجب أن تكون خالية من الترسيبات القشرية (Scales) أو أى مادة غريبة مثل السوائل (باستثناء الطبقة الرقيقة من (Couplant) اللازمة لنقل الإشارة.
2. التوجيه الصحيح لمجس الكاشف يكون مطلوباً للحصول على الاستعادة.
3. تفسير النتائج يحتاج إلى عمالة مدربة.

التفتيش الإليكترونى لخطوط المواسير :

(Electronic Pipeline Inspection):

أدوات التفتيش المتاحة التى يمكن ضخها خلال خط المواسير وتعطى تسجيل مستمر لحالة جدار الماسورة. جهاز (Linalog) يستخدم تقنية جهاز تسرب الفيض الكهرومغناطيسى (Electromagnetic Flux Leakage) للكشف عن كلاً من العيوب والتلفيات الداخلية والخارجية. عادة يسمى الخنزير الاليكترونى (Electronic Pig) جهاز ليتالوج وحدة كاملة مستقلة. له ثلاث مقاطع طاقة، محول، مسجل. أدوات المواسير ذات القطر الصغير أقل من 18 بوصة تحتاج إلى مقاطع أكثر زيادة عن الثلاث الأساسية بما يمكن الأداة من المرور خلال أقطار المنحنيات المعقولة فى خط الأنابيب. كل مقطع متصل بالمقطع المجاور بالوصلة العامة أو الجامعة (Universal Joint) والتى توفر المرونة المطلوبة. الشكل (3/15) يبين الأجزاء الثلاثة لمقاطع الجهاز.

جزء الطاقة للجهاز الأساسى، يعمل كمقطع للتشغيل لدفع المكشطة (Pig) خلال الخط وله زحافات على شكل فنجال (Scraper Cups) التى تمركز جزء البطارية فى خط المواسير وتعمل للالتصاق بجدار الماسورة. مقطع المحول تستخدم تسرب الفيض الكهرومغناطيسى للكشف عن العيوب وتوفير إشارات لجزء التسجيل. جزء التسجيل يحتوى المسجلات الأليكترونية وشرائط التسجيل لتخزين المعلومات من جزء المحول.

نظراً لأن المطلوب هو توقيع كل 360 درجة لجدار جسم الماسورة. فإن بعض المواسير تتطلب معلومات بارزة بالأرقام محسوبة ومسجلة (Readout) على 28 من خطوط الرسم (Traces) . بالنسبة للمكشطة الصغيرة (Pig) .

عادة تظهر علامات التآكل على السجل فى شكل مجموعات كدوائر الشكل (3/16). العلامات نادراً ما تظهر على كل القنوات. هذا المظهر يبين التآكل حول كل محيط الماسورة.

كذلك يظهر على التسجيل مسار التعليم (Marker Channel) يستخدم التسجيل حزام للحامات، المحابس ، الوصلات ، علامة المغناطيس. مسار التعليم يوفر معلومات مساعدة نحو التحديد الدقيق للمكان حيث العيب أو التلف. معلومات إضافة يمكن توفيرها بشكل الخط (Line Trace) الذى يبين التغيرات فى سرعة الجهاز.

نظراً لأن المكشطة لديها الاستعداد للدوران الخفيف مع تقدمها خلال الخط، فإن حيود المسار يبين الوضع وفقاً للساعة المحول. لذا، فإن قراءة التسجيل يمكن أن تحدد ربع الدائرة (Quadrant) التى يوجد عليها التآكل.

التصوير الإشعاعى : (Radiography) :

فى إنتاج البترول، يستخدم التصوير الإشعاعى أساساً للتفتيش على اللحامات والأسطح الداخلية للمواسير ومعدات الإنتاج.

العملية عبارة عن تمرير أشعة إكس أو أشعة جاماً من المصدر خلال الغرض المطلوب تفتيشه ثم على قطعة من الفيلم الفوتوغرافى. عند التحميض يسمى الفيلم الصورة بالأشعة (Radiograph) .

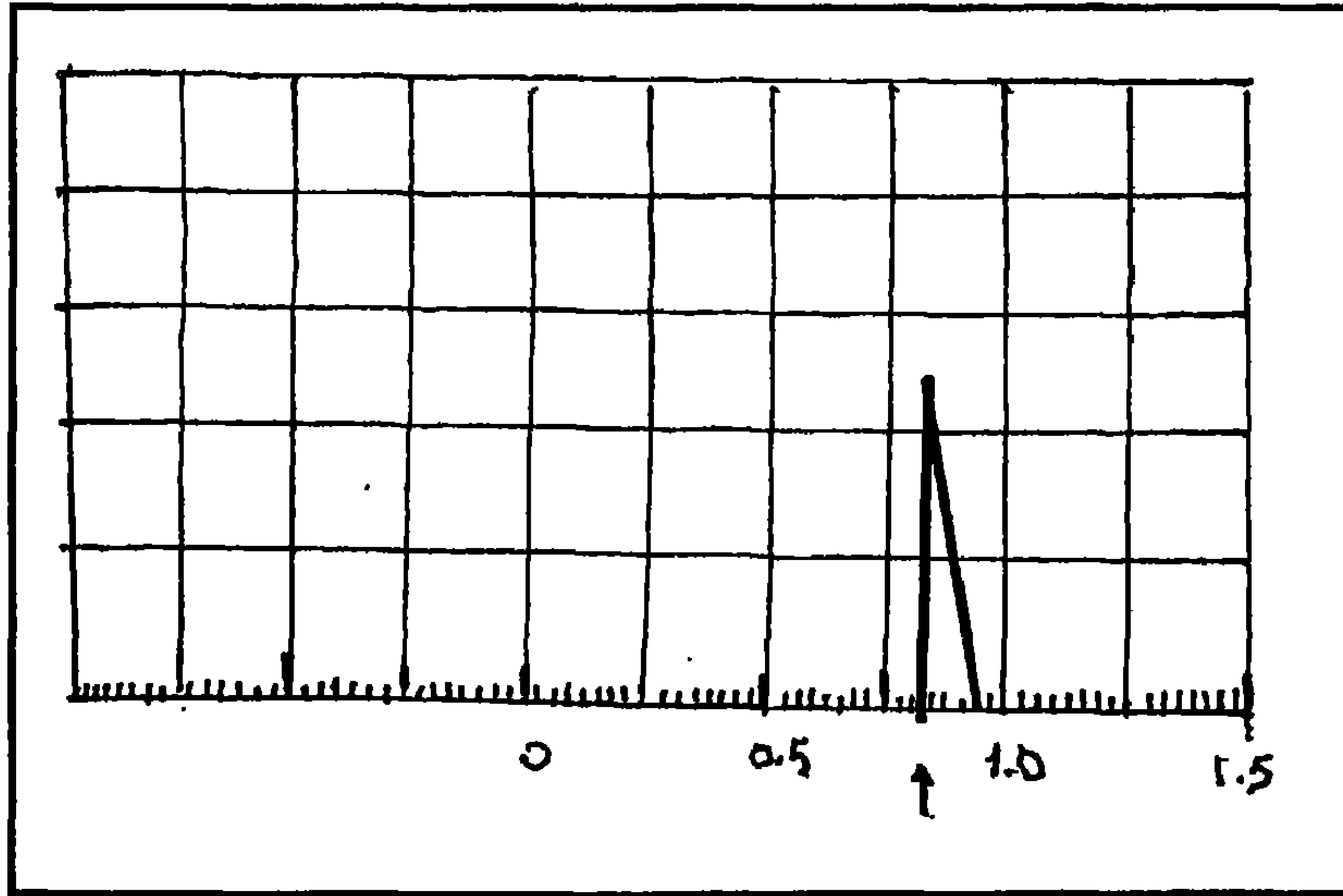
يمكن استخدام التصوير الشعاعى لتعيين سمك جدار الماسورة وكذلك للكشف عن الثقوب أو أى تلفيات أخرى بفعل التآكل. عيوب المعدن مثل المسامية أو التطابق يمكن كشفها وكذلك يمكن تحديد نوعية اللحام .

التفتيش بالفحص المباشر : (Visual Inspection) :

من بين كل الطرق المتاحة للكشف عن التآكل، فإن الفحص المباشر هو الذى يعتمد عليه. قد يكون من الصعب تنفيذه فى معظم الحالات وكذلك استحالته فى حالات أخرى.

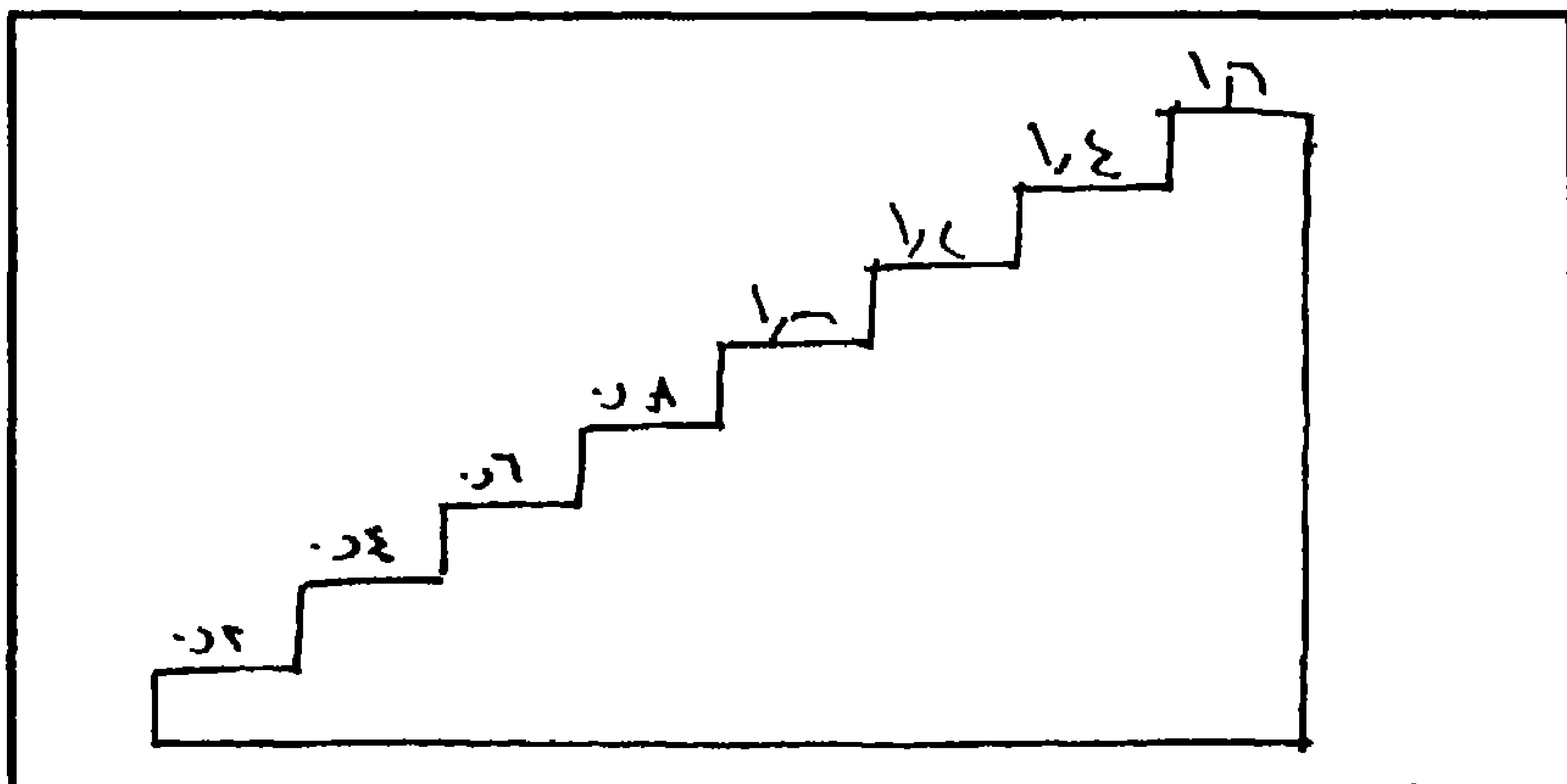
ولكن يجب استخدام كل فرصة تتاح للفحص المباشر، كمثال فى حالة توقــف الخــط، أو الطلمبة او عند تنظيف الخزان. استخدام آلة تصوير، دون الملاحظات، مع قياس أى شيء له علاقة وعمل رسم تخطيطى.

وأخيراً فإنه ينصح بعدم الاعتماد على طريقة واحدة فى رصد التآكل. حيــث يلــزم استخدام عدة تقنيات فى وقت واحد كلما أمكن ذلك مع الاحتفاظ بتسجيل كامل للبيانات.

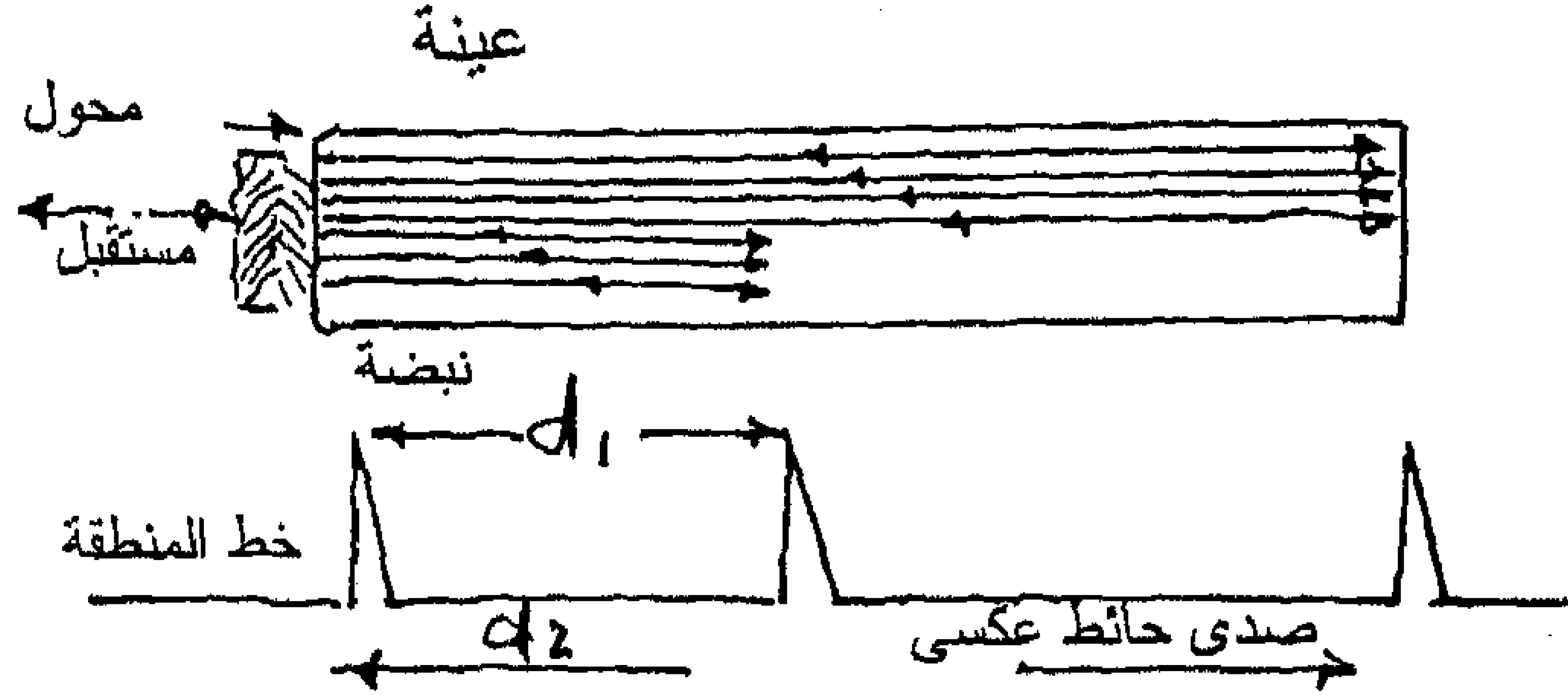


شكل (3/12) قراءة مقياس العينة لانعكاس النبض فوق الصوتى.

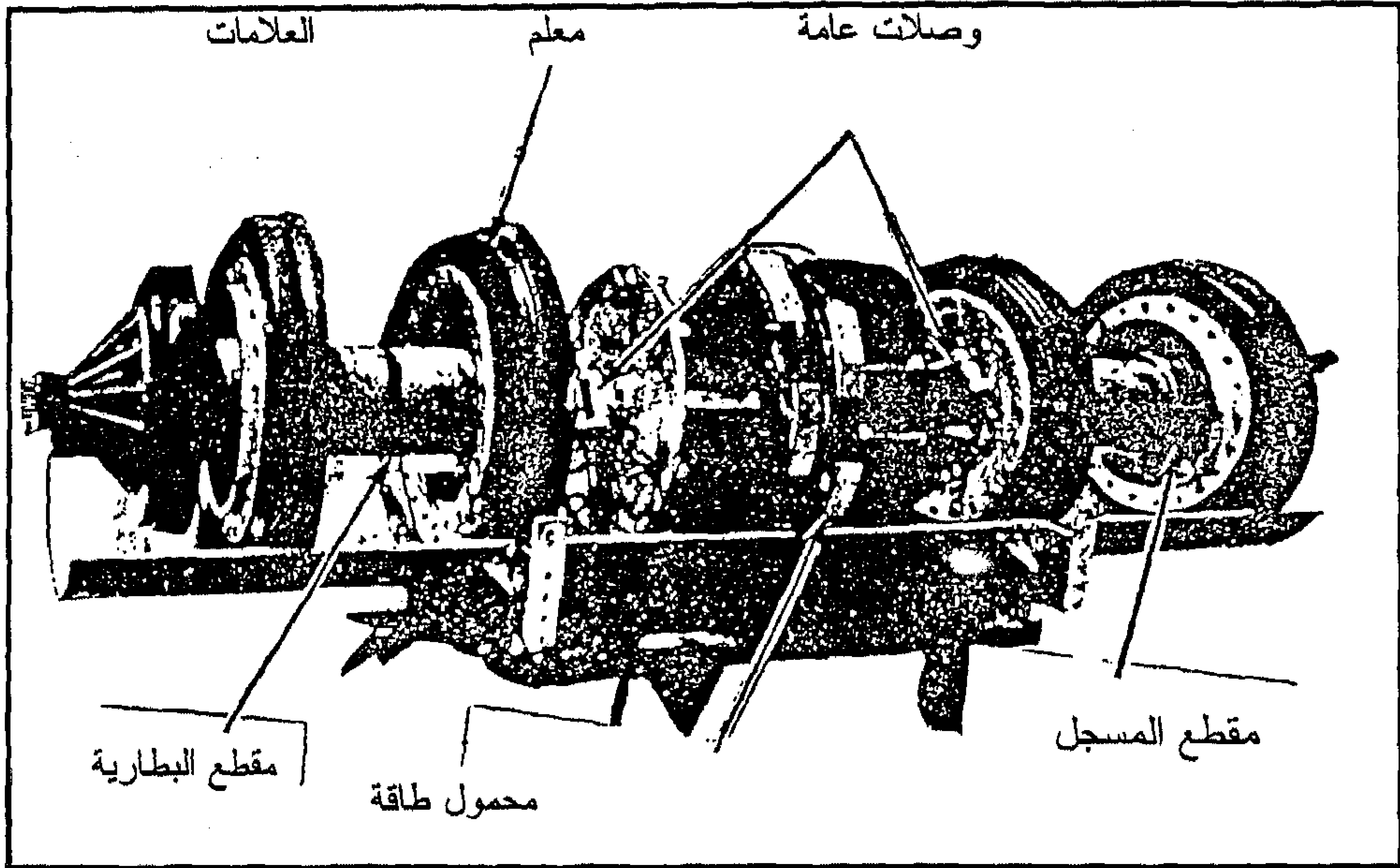
هذه القراءة 0.8 بوصة



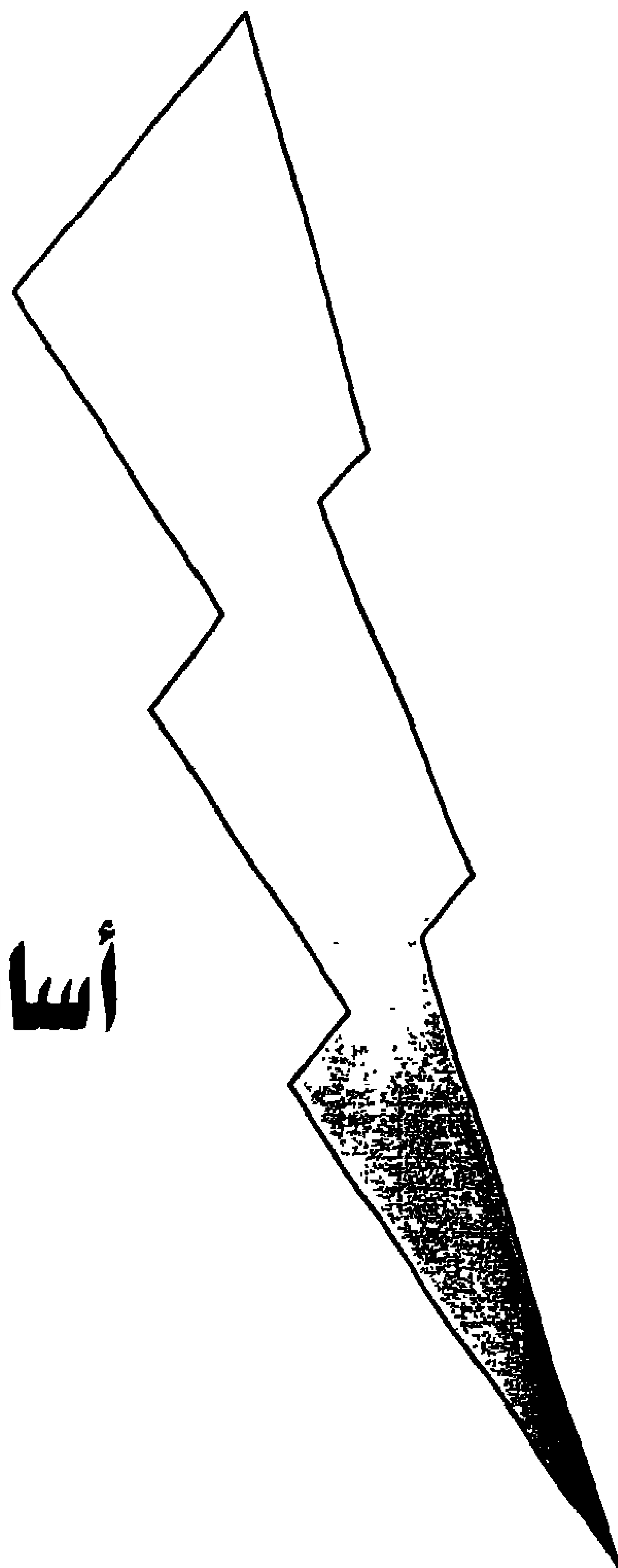
شكل (3/13) مخطط كتلة الاختبار لمعايرة مقياس الانعكاس فوق الصوتى



شكل (3/14) مخطط للنبض الصوتى للاختراق والانعكاس
وشكل الصورة التى تمثل الانعكاس



شكل (3/15) أداة الكشف عن التآكل لخطوط المواسير
فى مكانها (Linalog Tool)



الفصـل الرابع

أساسيات مثبطات التآكل

مقـــدمـة :

1- التعريف بمثبط التآكل :

المثبط هى المادة التى تؤخر أو تبطئ التفاعل الكيماوى. لذلك، فإن مثبط التآكل هــو المادة التى عند إضافتها إلى مجال معين، تقلل من معدل عدوانية هذا المجال على المعدن. مثبطات التآكل عادة تضاف بكميات صغيرة إلى الأحماض، مياه التبريد، البخار ومجالات أخرى إما باستمرار أو على دفعات متقطعة لمنع حدوث التآكل الحاد.

يلزم التعرف على آلية التثبيط ذلك لأن التثبيط يصاحبه بواحد أو أكثر من الآليــات المتعددة. بعض المثبطات تؤخر التآكل بالإدمصاصى لتكون طبقة رقيقــة لا تــرى ذات سمك من عدة جزئيات قليلة، أنواع أخرى تكون رواسب كبيرة مرئية التى تغطى المعدن وتحميه من التآكل. آلية أخرى تتكون من العمل على تآكل المعدن بالطريقة حيث الجمــع بين الادمصاص ومكونات التآكل تكون طبقة مناعة. ونحن نضيف إلى التعريــف تلــك المواد التى عندما تضاف إلى مجال معين تؤخر التآكل ولكنها لا تتفاعل مباشرة مع سطح المعدن. هذا النوع من المثبطات يوجد له مرغوبة فى المجال الملاصق للمعــدن لتكــون رواسب حماية أو أن تزيل مكون عدوانى من المجال.

تقـــديم :

استخدام المثبطات زاد ليكون من أحد أهم الطرق لمقاومة التآكــل ليــتم اســتخدامها بكفاءة، فإن مهندس التآكل يجب أن يكون قادراً على تلك المشــكلة التــى يمكــن حلهــا باستخدام مثبطات التآكل ، كذلك فإنه يجب أن يراعــى الناحيــة الاقتصــادية المتعلقــة بهذاالاستخدام ، سواء كان الفقد بسبب التآكل يزيد أو لا يزيد عن تكلفة المثــبط وصــيانة وتشغيل نظام الحقن. كذلك فإنه يجب أن يراعى مدى توافق المثبطات فى تلك العملية ذلك لتجنب التأثيرات الضارة مثل حدوث الرغاوى ، خفض طاقة العامل المساعد ، تحلل مواد أخرى ، الفقد فى الانتقال الحرارى ... الخ أخيراً فإنه يجب أن يستخدم المثــبط تحــت الظروف المحققة لأفضل تأثير.

سيتم مناقشة مثبطات التآكل من خلال أربع نقاط وهى:

- التأثير على عملية التآكل.
- تفاعلاتها مع مختلف المجالات العدوانية.
- خواص المثبطات نفسها.
- احتمال تأثيرات المثبطات على العمليات الانتاجية.

1- مثبطات التآكل والاستقطاب الكهروكيميائى :

Corrosion Inhibitors and electrochemical Polarization

مخططات الاستقطاب: سيتم تناول العلاقة بين مثبطات التآكل بالنسبة لاستقطاب الأنود والكاثود.

من بين المكونات الأربع لخلية التآكل (الأنود ، الكاثود ، الإليكتروليت ، وموصل الإليكترونات) ، ثلاث منهم قد تتأثر بمثبط التآكل لتأخير حدوث التآكل ، حيث يمكن أن يسبب المثبط الآتى:

زيادة الاستقطاب للأنود (تثبيط الأنود).

زيادة الاستقطاب للكاثود (تثبيط الكاثودى).

زيادة المقاومة الكهربية للدائرة بتكوين طبقة ترسيب كثيفة على سطح المعدن. طبيعى أن المثبطات المكونة لطبقة سميكة تعيق تسرب مانع الاستقطاب مثل الأكسجين ووصوله إلى سطح المعدن وبالتالى فإنه يمكن أن يقوم بدور مزدوج . مقاومة الموصل الكهربى بين الأنودات والكاثودات والتى هى عادة مقاومة المعدن نفسه تكون منخفضة جداً ولا تتغير بمثبطات التآكل.

تأثير مثبط التآكل على خلية التآكل تتحدد باستقطاب المعدن المتآكل فى إلكتيروليت مناسب واستخدام كميات مختلفة من التيار من مصدر خارجى مثل البطارية. جهاز معملى بسيط لقياس الاستقطاب موضح فى الشكل (4/1) .معدل تفاعل الأنودات يمكن زيادته يعمل القطب أكثر سلباً. يتم قياس القوة التى يجب استخدامها لتقوية تفاعلات الأنود أو الكاثود باستخدام الفولت بين القطب المستخدم وقطب قياسى. لا يتم تغذية القطب القياسى بأى تيار لذلك فإنه يستخدم كمعيار الذى يقابله قياس جهد القطب المستخدم. فى تجربة لمقارنة تأثيرات عدة مثبطات على استقطاع الصلب فى مجال عدوانى مثل الحامض

المخفف، ومادة خاملة مثل الكربون أو البلاتين كقطب إضافى. عندئذ يتم زيادة التيار على مراحل بواسطة مقاومة متغيرة وقراءة الفولت عند كل مرحلة. عند توقيع التيار مقابل الفولت فى وجود وعدم وجود المثبط فتظهر تأثيرات المثبط على خواص الاستقطاب للصلب. نموذج للمنحنى موضح فى الشكل (4/3) عند عدم استخدام التغذية بالتيار وأن القطب المستخدم وصل إلى حالة الاستقرار عندئذ فإن الجهد المقاس هو جهد التآكل (Ec) لمادة القطب. جهد التآكل هو الجهد المختلط (Mixed Potential) الذى عندما يحدث الاستقطاب لكل من الأنودات والكاثودات بتفاعل التآكل. وهذا كذلك علامة لتأثيرات المثبطات كما هو موضح فى البنود الآتية :

التحكم الأنودى : (Anodic Control) :

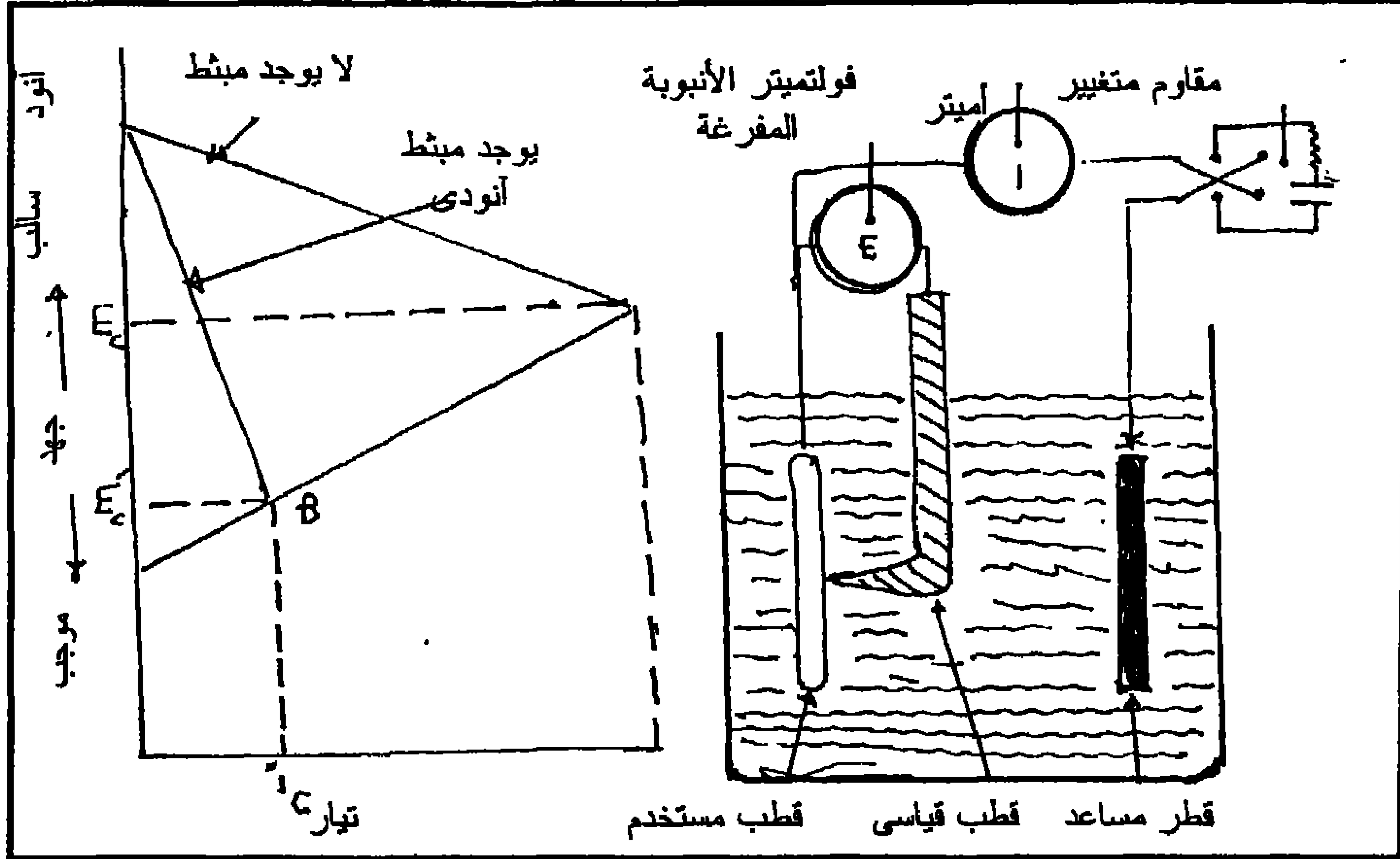
التثبيط الأنودى موضح فى الشكل (4/2) والذى يبين زيادة استقطاب الأنود فى وجود مثبط أنودى. إضافة المثبت تسبب تقاطع المنحنى الأنودى مع المنحنى الكاثودى عند النقطة (B) بدلاً من النقطة (A) وجهد التآكل ينقل فى اتجاه الكاثود من Ec إلى ´Ec .

منحنيات الاستقطاب هو فقط توضيحية، فى الواقع كل المثبطات تقوم بكل من التأثيرات الأنودية والكاثودية مع واحد أو الآخر السائد.التحكم الأنودى كما هو موضح فى الشكل (4/2) نادراً ما يحدث. النوع الأكثر وجوداً للتحكم الأنودى موضح بالمناعة (Passivation) والتى سيتم تناولها.

عند زيادة استقطاب معدن يتآكل باستخدام تيار من مصدر خارجي. فإن منحنى الاستقطاب يبدأ من النقطة (A)، (B) فى عينة ووجود المثبط، بالتالى كما هو موضح فى الشكل (4/3).

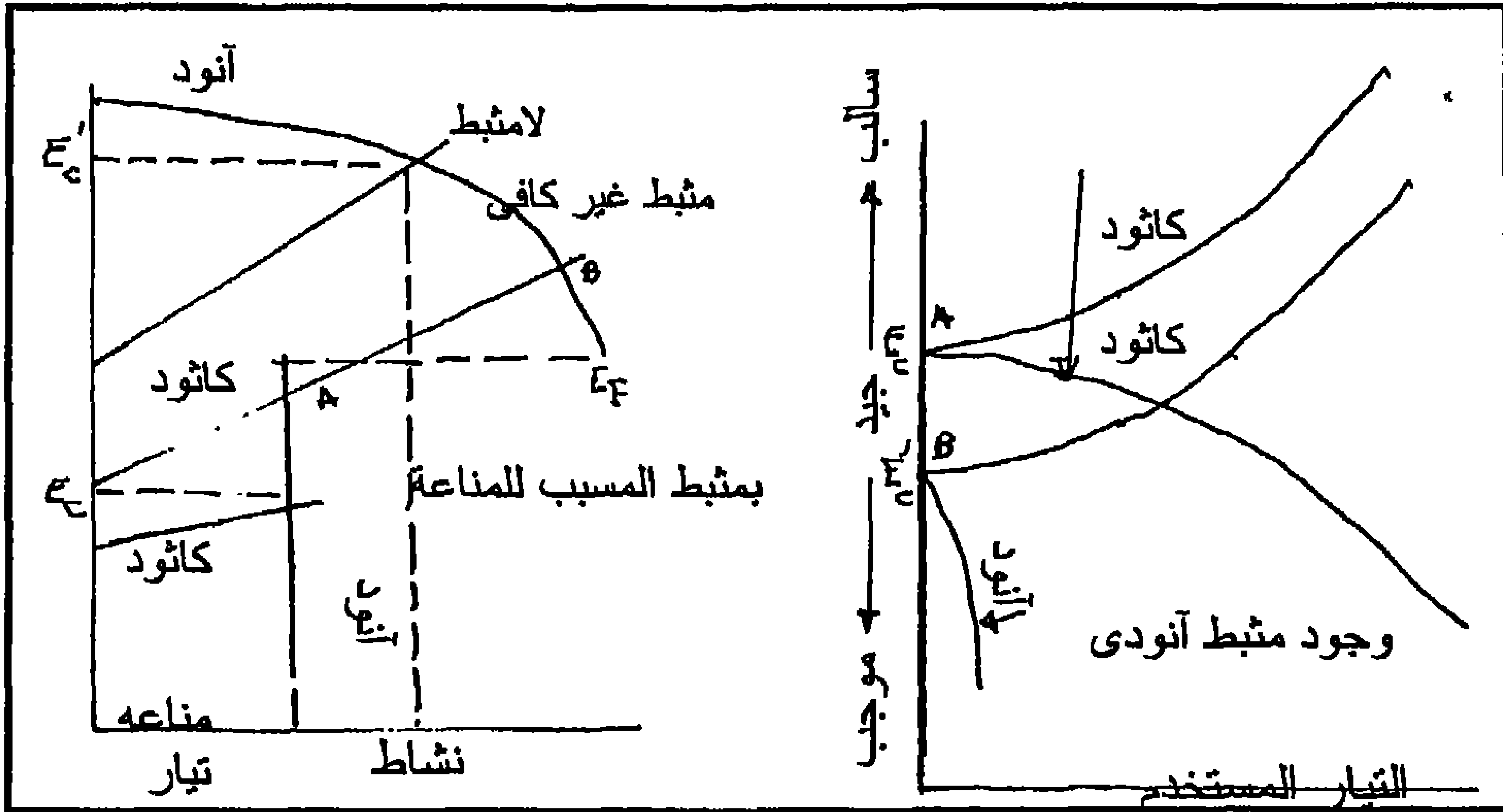
المثبطات الأنودية المسببة لانتقال كبير فى جهد التآكل تسمى مثبطات المناعة (Passivation inhibitors). وهذه تسمى كذلك المثبطات الخطرة ذلك لأنه فى حالة استخدامها بتركيزات غير كافية فإنها تسبب التآكل النقبى وأحياناً زيادة فى معدل التآكل. عند استخدام الجرعة المناسبة فإن مثبطات المناعة تستخدم أحياناً لأنها مؤثرة جداً فى كميات طافية. عوالم المناعة المؤكسدة مثل كرومات الصوديوم ونترات الصوديوم لا تحتاج إلى الأكسجين لتكون مؤثرة حيث أنها تختزل بسهولة. وهى مانع استقطاب جيد للكاثود. فهى تسبب المناعة بإسراع تفاعل التآكل إلى حد أن الأنودات تستقطب إلى جهد المناعة الموضح بالرمز E_f شكل (4/4). عندئذ منحنى الكاثود الذى لم يستقطب يتقاطع

مع منحنى الأنود فى منطقة المناعة عند E_c. ادمصاص المثبط على المناطق الأنودية يقوم بدور فى العملية كذلك لأنه يقلل التيار (أو معدل التآكل اللازم للأنود للوصول إلى جهد المناعة الحرج E_f.



شكل (4/1) جهاز معملى لقياسات الاستقطاب

شكل (4/2) المثبط الأنودى على الجهد مع تغيير تيار التآكل من O إلى C كشكل من التحكم الآنودى



شكل (4/3) تأثير النبطات الآنودية على منحنيات الاستقطاب الآنودى

شكل (4/4) تأثير مثبطات المناعة على تآكل الحديد

يلاحظ أنه عند استخدام كمية غير كافية من المثبط فإن المنحنى الكاثودى سيتقاطع مع المنحنى الأنودى فى منطقة نشطة أوفى كل من المناطق النشطة وذات لامناعة الموضحة بـ (A) ، (B) فى الشكل (4/4). فى الحالة الأولى يستمر التآكل بمعدل عالى، فى الحالة التالية ، تكون المناعة غير مستقرة وجهد التآكل سوف يتذبذب ما بين (A), (B) عادة بما ينتج عنه تآكل ثقبى للمعدن. قياس جهد التآكل عند استخدام مواد المناعة (Passivators) طريقة جيدة لتعيين ما إذا كان المثبط يقوم بدوره لأن الانتقال الموجب الكبير فى الجهد سوف يحدث إذا حدثت مناعة للمعدن. المناعة بالمثبطات تكون أكثر صعوبة عند درجة الحرارة المرتفعة، التركيزات العالية للأملاح ، الرقم الهيدروجينى المنخفض ، التركيز المنخفض للأكسجين المذاب.

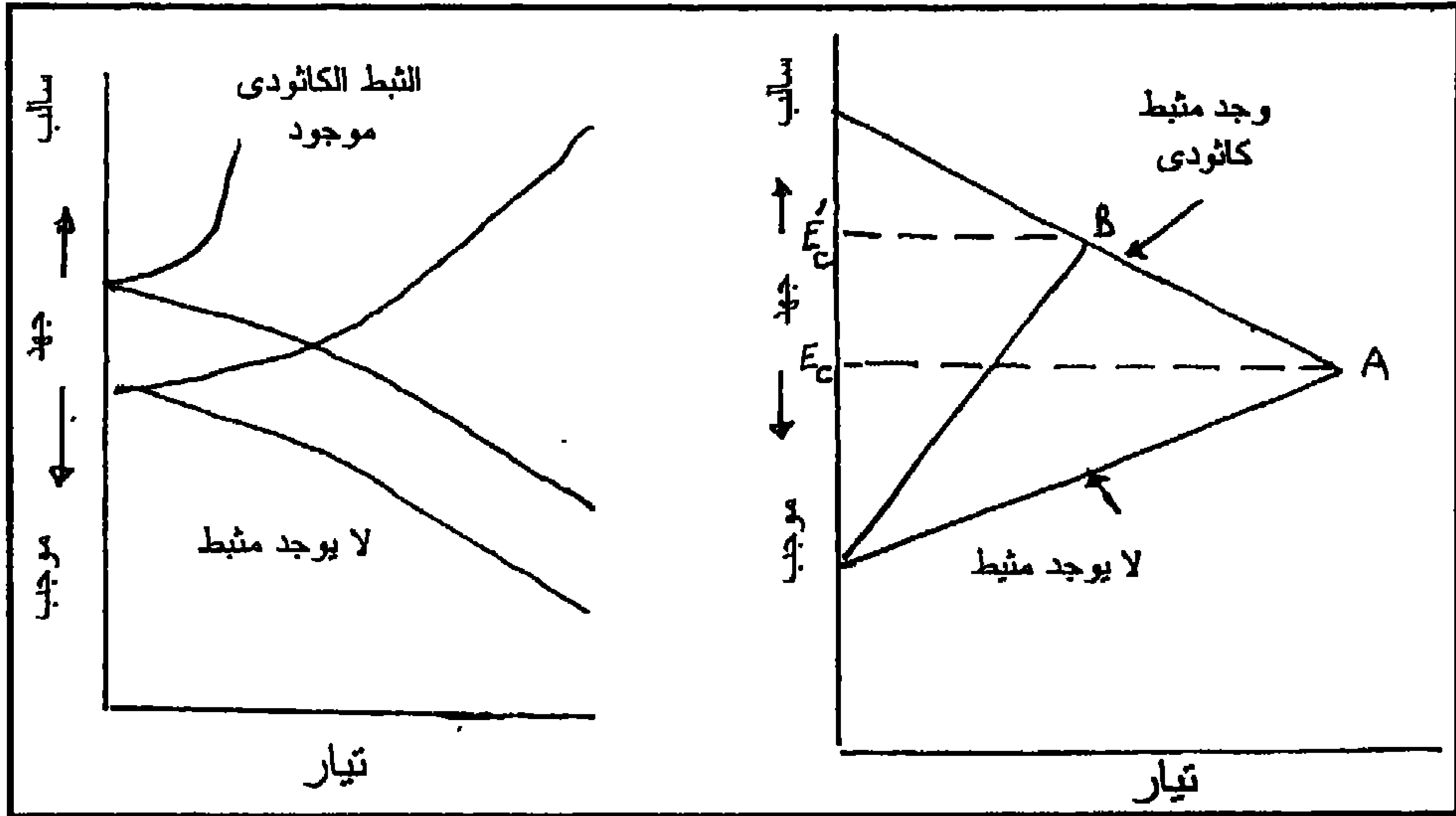
عوامل المناعة الغير مؤكسدة مثل بنزوات الصوديوم، البولى فوسفيت، الصوديوم سيناميت تحتاج إلى وجود الأكسجين لتسبب المناعة – فهى لا تثبط التآكل فى عدم وجود الأكسجين. يبدو أن أدائها يتم بتثبيط ادمصاص الأكسجين على الأنودات ، وبذلك يحدث الاستقطاب فى منقطة المناعة.

التحكم الكاثودى : (Cathodic Control) :

المثبطات الكاثودية أما أن تبطئ تفاعل الكاثود نفسه أو أنها تترسب على المناطق الكاثودية لزيادة مقاومة الدائرة وإعاقة تسرب العناصر المختزلة نحو الكاثودات. تأثيرات المثبطات الكاثودية على الاستقطاب الكاثودى موضح فى الشكل (4/5). فى هذه الحالة حيث استقطاب الأنود لا يتأثر، فإن جهد التآكل ينتقل إلى قيم موجبة أكثر من E_c إلى E_c استقطاب المعدن الذى يتآكل بمصدر خارجى من (A) إلى (B) فى الشكل (4/5) سوف ينتج منحنيات موضحة فى الشكل (4/6).

عندما يكون التفاعل الكاثودى هو اختزال أيونات الهيدروجين إلى غاز الهيدروجين والذى ينصرف من السطح. بعض المثبطات الكاثودية تتداخل مع التفاعلات، حيث تعمل علىزيادة صعوبة صرف الهيدروجين الغاز حيث يقال أنها تزيد من زيادة فولت الهيدروجين (Hydrogen Over Voltage) . إذا كان تفاعل كاثود آخر ممكناً مثل اختزال الأكسجين ، عندئذ فإن المثبطات التى تزيد من زيادة فولت الهيدروجين تكون أقل تأثيراً ، لذلك فإنها تستخدم عادة فى الأحماض

أوفى النظم حيث لا يوجد أكسجين – مركبات الزرنيج والأنتيمون هى مثال لهـذا النـوع مـن المثبطات.



شكل (4/5) تأثير المثبط الكاثودى على الاستقطاب شكل (4/6) منحنياً الاستقطاب فى وجود مثبط كاثودى

مثبطات كاثودية أخرى تستخدم زيادة القلوية عند المناطق الكاثودية لترسيب مركبات غير مذابة على سطح المعدن. التفاعل الكـاثودى ، أيـون الهيـدروجين و/أو اختـزال الأكسجين، يسبب المجال الملاصق للكاثودات مباشرة ليصبح قلوى، لذلك فإن أيونات مثل الكالسيوم، الزنك أو المغنسيوم يمكن أن ترسب كأكاسيد مكونة طبقة حماية على المعدن. كثيراً من المياه الطبيعية ذات قدرة تثبيط طبيعية بسبب ترسيبات القشور (Scales) علـى المعادن بترسيب الأيونات الموجودة طبيعياً.

التحكم الأومى (لفرق الجهد) : (Ohmic Control)

المثبطات التى تزيد المقاومة الأومية (Ohmic Resistance) للدائرة الاليكتروليتيـه. نظراً لأنه من الصعب عملياً زيادة مقاومة كل الأليكتروليت، فإن زيادة المقاومة تتم عملياً بتكوين طبقة بسمك ميكرونات على سطح المعدن. فى حالة ترسيب الطبقة على المناطق الأنودية فإن جهد التآكل ينتقل إلى القيم الموجبة أكثر. وإذا ترسبت على المناطق الكاثودية

، فإن الانتقال يكون بقيم سلبية أكثر ، وإذا عملت الطبقة على تغطية كلاً من المناطق الأنودية والكاثودية سيكون هناك انتقال ضعيف فقط فى أى من الاتجاهين.

التثبيط والبيئة الملاصقة : (Inhibition and Environment) :

مقدمة : المجالات المائية هى أكثر المجالات عدوانية والتى يستخدم لها مثبطات التآكل: الماء مذيب قوى قادر على حمل أيونات مختلفة كثيرة فى نفس الوقت، لذلك فإن متطلبات مثبطات التآكل قد تتغير كثيراً طبقاً لكمية ونوع المواد المذابة الموجودة. لعدم وجود مثبط عالمى لنظم المياه، فإن المثبط الذى قد يكون مناسب فى أحد الأنظمة قد يكون غير مؤثر بل قد يكون ضار فى الآخر. العوامل الرئيسية التى يجب مراعاتها فى تطبيقات مثبطات التآكل فى النظم المائية هى : تركيز الأملاح ، الرقم الهيدروجينى ، تركيز الأكسجين المذاب وتركيز المواد التى تتداخل.

* **تأثيرات مختلف المواد المذابة:** الماء الخالى من الأملاح يكون غير عدوانى نسبياً بالنسبة للصلب بسبب المقاومة العالية وانخفاض تركيز أيون الهيدروجين. ولكن، عند التصاق المياه الخالية من الأملاح مع الهواء الجوى فإنه سوف يمتص ثانى أكسيد الكربون مكونا حامض الكربونيك والذى يقلل من مقاومته حيث يحدث تآكل للصلب، التفاعل الكاثودى كونه أساساً اختزال الأكسجين المذاب فى هذه الحالة يكون أقل تركيز من المثبطات مثل كرومات الصوديوم ، نيتريت الصوديوم ، البولى فوسفيت (Polyphosphates) بنزوات الصوديوم أو البوراكس كافى جداً. الصلب تحدث له مناعة بسهولة فى المياه المقطرة أو المياه الخالية من الأملاح ذلك لأن الرقم الهيدروجينى يكون متعادلاً ، ولا توجد أيونات مذابة تتداخل مع تكون طبقة المناعة.

المياه الصناعية والمنزلية تحتوى على مواد مذابة التى تؤثر على عدوانيتها ومتطلبات مثبط التآكل تتوقف على طبيعة هذه المواد. أكثر المواد المذابة عادة فى تلك المياه وتأثيراتها على مثبطات التآكل هى الآتى:

الأكسجين: فى المياه المتعادلة الأكسجين يسبب التآكل لذلك، فى حالة وجوده أقل من 0.1 جزء فى المليون، فإنه يمكن التحكم فى التآكل بنسبة كافية فى بعض النظم مثل، الغلايات وإمدادات المياه الساخنة – يمكن استخدام الأكسجين فى زيادة مناعة الصلب بإضافة مثبط مسبب للمناعة (Passivating Inhibitor). المثبطات العضوية نادراً ما

تكون مؤثرة ضد العدوانية بسبب الأكسجين عدا فى حالة احتوائها مجموعة مناعة (Passivating Groups) مثل البنزويت أو النيتريت.

*** أيون الكلوريد Cl :**

من الصعب توفير المناعة للصلب فى وجود أيون الكلور، لذلك فإنه يلزم توفير تركيزات عالية من مثبط التآكل فى حالة وجود الكلوريدات. يجب استخدام المثبطات الغير محققة المناعة (Non passivating Inhibitors) بتركيزات عالية كذلك لأن أيونات الكلوريد تمتص بقوة بواسطة الصلب.

*** الكبريتات (Sulphates)(SO_4^-):**

تأثير الكبريتات على المناعة يشبه لذلك للكلوريد ولكن بدرجة أقل. الكبريتات أو الكلوريدات يجب أن يسمح بتراكمها فى النظام بالتبخير ذلك .لأنه يمكن حدوث عدم المناعة.

*** البيكربونات (HCO_3^-) :**

يمكن استخدام البيكربونات فى المياه العسر لتوفير التثبيط الطبيعى بتكوين رواسب. فى المياه اليسر يجب استخدام مثبطات التآكل فى حالة وجود زائد من ثانى أكسيد الكربون ذلك لما تنتجة من حالة حموضة.

*** الكبريتيدات (S^{-2} – Sulphides):**

الكبريتيدات ترسب كثيراً من الأيونات المعدنية ، لذلك فإن المثبطات التى تحتوى على الزنك (كمثال) لا يمكن استخدامها. المثبطات المؤكسدة تختزل بالكبريتيد مكونة الكبريت الحر. وهى مؤثرة فقط فى حالة استخدام زيادة عن الكمية المطلوبة للتفاعل مع الكبريتيد والراسب الهلامى من الكبريت الحر يمكن تحمله.

*** كاتآيونات المعدن :**

أيونات الصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+) ليس لها تأثيرات معينة عن المثبطات، أيونات الكالسيوم (Ca^{+2}) والماغنسيوم (Mg^{+2}) يمكن استخدامها لتكوين راسب حماية

ولكن عند التركيزات العالية فإنها تتداخل مع التثبيط بترسيب الرواسب الغير محققة للحماية وكذلك ترسيب المثبطات مثل الفوسفات (PO_4^{-3})، السيليكيت (SiO^{-2}).

الحامض (H^+) : أيون الهيدروجين يزيد معدلات التآكل كما يزيد من صعوبة توفير المناعة للصلب. تستخدم المناعة فى حامض الكبريتيك (H_2So_4) وحامض الفوسفوريك (H_3Po_4) ولكن ليست فى حامض الهيدريوكلوريك (HCl). المواد العضوية الغير مسببة للمناعة أو المثبطات الكاثودية مثل أرزينات الصوديوم (Sodium Arsenate) بفضل استخدامها فى أحماض معالجة الأسطح المعدنية (Pickling Acids) لتجنب المخاطر الناتجة عن إزالة المناعة (Depassivation).

القلوى (OH^-) : فى المحاليل القلوية، يتم مقاومة التآكل الصلب بمعدل تسرب الأكسجين خلال نواتج التآكل المترسبة عادة ($Fe(OH)_2$) لذلك فإن معدلات التآكل تكون بطيئة. تتم تحقيق المناعة للصلب فى المحاليل القلوية ولكن معادن أخرى مثل الألومنيوم، الزنك والرصاص تتآكل ببطئ عند تركيزات قلوية منخفضة ولكن عند رقم هيدروجينى أعلا من 9 تكون المعدلات عالية حيث يلزم توفير المثبطات.

المياه ذات تركيز الأملاح المنخفضة والمتوسط:

المياه ذات تركيز الأملاح المنخفض والمتوسط توجد فى نظم إمدادات المياه المنزلية، وفى مياه التبريد، وفى الأنشطة البحرية وفى نظم حقن المياه فى حقول البترول. فى نظم تدوير المياه المقفله يمكن التخلص من الأكسجين وعادة يتم التحكم فى التآكل بضبط الرقم الهيدروجينى عند القيمة القلوية. فى الأنظمة المفتوحة يكون التآكل حاد جداً والمثبط الجيد يكون مطلوب. نظراً لأن المعادن تمتز أيونات الأملاح المذابة فى الماء ، فإنه تزيد صعوبة المثبط فى الوصول إلى سطح المعدن واستبدال الأيونات الممتزه، مقارنة لما يحدث فى المياه الخالية من الأملاح، لذلك فإنه يكون مطلوب تركيز أعلا من الأملاح. هذا بالإضافة إلى أن أيونات الكلوريد لها تأثير إزالة المناعة، أى أنها تزيد من صعوبة مقاومة التآكل باستخدام مثبطات التآكل. لذلك يكون من المهم المحافظة على تركيزات المثبط عند مستوى الأمان فى المياه المحتوية على أملاح مذابة، وخاصة الكلوريدات.

مياه الشرب لا يمكن معالجتها بمعظم المثبطات بسبب سميتها، ولكن لحسن الحظ المعالجة بالجير المطفى (Lime) لرفع الرقم الهيدروجينى عادة توفر حماية كافية لمواسير المياه من الصلب أو الزهر. فى حالة ارتفاع الكلوريدات أو الكبريتات فى الماء عندئذ تضاف البولى فوسفيت (Polyphosphates) لتثبيط إضافى. يمكن استخدام السليكات كذلك فى مياه الشرب ولكن عيوبها أنها تكون ترسيبات مع الحديد والكالسيوم حيث تتكون قشور (Scales) على الأسطح الداخلية للمواسير وكذلك أسطح المبادلات الحرارية. نظم مياه التبريد يمكن أن تكون إما دوارة (Recirculating) أو من نوع التمرير الواحد (Oncethrough) . نظم التدوير أكثر سهولة فى التحكم باستخدام المثبطات حيث يمكن استخدام تركيزات أعلا حيث يعاد استخدام المياه. كلا من كرومات الصوديوم ونيتريت الصوديوم كلاهما مؤثر فى كل نظم التدوير الصلب المقفلة. نيتريت الصوديوم يمكن أن يكون أمونيا بالاختزال عند المواقع الكاثودية، لذلك فإنه لا يستخدم فى النظم التى تحتوى على النحاس الأصفر (Brass) أو النحاس ذلك لأن تلك المواد معرضة للتشقق بالإجهاد والتآكل بواسطة الأمونيا. خليط الجليكول الماء (Glycol- Water) مثل المستخدم لتبريد المحركات لا يمكن تثبيطه بالمثبطات المؤكسدة مثل الكرومات أو النيتريت ذلك لأن الجليكول يتأكسد. وهذا لا يستهلك المثبط فقط ولكن يكون أحماض عضوية التى تكون عدوانية على نظام التبريد. نظم التبريد هذه يتم تثبيطها عادة بخليط من البوراكس (لاستمرار رقم هيدروجينى قلوى) ، (Mercaptobenzothiazole) الذى يثبط تآكل النحاس الأصفر والنحاس. البوراكس فقط كافى للصلب الملتصق مع خليط من الجليكول والماء ولكن البوراكس والجليكول عدوانى على زنك الجلفنة بسرعة وكذلك على الزنك فى النحاس الأصفر بسبب تكون مركبات معقدة من الزنك عند درجة الحرارة المنخفضة. لذلك فإن إضافة (Mercaptobenzothiazole) يعتبر ضرورى فى نظم التبريد ذات المعادن المختلطة. يضاف كذلك زيت مذاب لزيادة الحماية ونزيج أجزاء الحركة فى نظم التبريد.

نظم التبريد ذات التمرير الواحد تحتاج لمثبطات تآكل غير مكلفة. الوضع يشبه لذلك فى مياه الشرب المنزلية حيث يضاف لبن الجير أو البولى فوسفيت.

فى المياه شديدة العدوانية بسبب التركيز العالى للكلوريد، يمكن استخدام الكرومات أو النيتريت بالإضافة إلى البولى فوسفيت. المياه التى قد تحتوى على كميات كبيرة من المواد العضوية مثل مياه البحر والمياه المالحة لحقن حقول الزيت، عادة لا يتم تثبيطها بالمثبطات المؤكسدة مثل الكرومات والنيتريت ذلك بسبب الاستهلاك العالى للمثبط خلال أكسدة المواد العضوية. المثبطات الغير عضوية والغير مؤكسدة مثل (سيليكات الصوديوم) يجب استخدامها بتركيزات عالية بسبب المحتوى العالى من الكلوريد فى المياه المالحة. عموماً، توفر المثبطات العضوية أفضل الوسائل للحماية فى المياه المالحة الملوثة بالمواد العضوية. تركيز المثبط فقط فى حدود 10 – 20 جزء فى المليون من الأمينات الدهنية (Fatty Amines) يوفر عادة حماية مؤثرة من التآكل فى المياه المالحة لآبار حقول زيت البترول.

التركيزات العالية للأملاح :

تركيزات الأملاح العالية جداً تستخدم فى المحاليل المائية للتبادل الحرارى فى نظم التبريد. درجة الحرارة عادة تكون منخفضة دائماً ونظراً لأن المياه شديدة الملوحة يتم تدويرها، فإن التركيز العالى للمثبط يمكن استمراره اقتصادياً. كرومات الصوديوم ذات تأثير فى المياه شديدة الملوحة للتبريد شريطة عدم وجود مخاطر من السمية. إذا كان هناك عامل فسيولوجى عندئذ يمكن استخدام داى صوديوم فوسفيت (Disodium Phosphate) رغم أنه ليس له التأثير الجيد مثل كرومات الصوديوم بالنسبة للحد من التآكل.

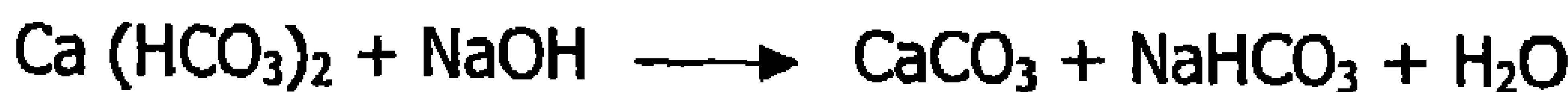
تأثيرات الرقم الهيدروجينى : (Effects Of pH) :

الرقم الهيدروجينى للمحاليل المائية شديد الأهمية نحو تعيين نوع مثبط التآكل الذى يكون أكثر تأثيراً أو اقتصاداً. المياه العسر الطبيعية بها مركبات الكالسيوم المذاب طبقاً لتفاعل الاتزان الآتى:



CaCO (غير مذاب) CO H O Ca HCO (مذاب)

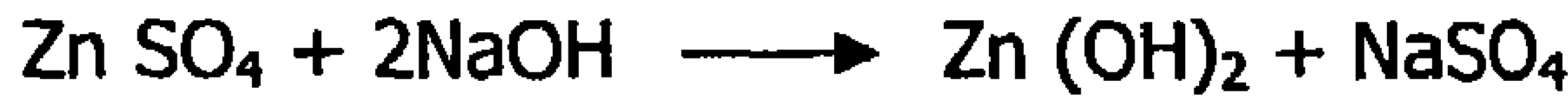
عند درجات الحرارة المرتفعة يحدث التفاعل العكسى حيث تصبح الأسطح الساخنة مغطاة بطبقة من كربونات الكالسيوم ($Ca\ CO_3$)، كذلك تنتج طبقة حماية عندما تصير بيكربونات الكالسيوم $Ca\ (HCO_3)_2$ قلوية فى المناطق الكاثودية.



$$Ca\ (HCO_3)_2 + NaOH \longrightarrow CaCO_3 + NaHCO_3 + H_2O$$

مذاب قلوى غير مذاب مذاب

قشور الترسيبات (Scales) من كربونات الكالسيوم التى ترسب تثبط التآكل بخفض المساحات الكاثودية ، حيث تعيق تسرب موانع الاستقطاب الكاثودية وزيادة المقاومة الأومية. لهذا السبب ، فإن بعض المياه الطبيعية العسر تكون أقل عدوانية عن المياه المزال عسرها. إضافة كبريتات الزنك ($Zn\ SO_4$) يثبط التآكل كذلك بترسيب أيدروكسيد الزنك الغير مذاب على المناطق الكاثودية.



$$Zn\ SO_4 + 2NaOH \longrightarrow Zn\ (OH)_2 + NaSO_4$$

مذاب قلوى غير مذاب مذاب

الحموضة لوجود كبريتيد الهيدروجين تعتبر مشكلة كبيرة. الغاز المذاب عدوانى على الصلب عند المتعرض الأولى فقط بسبب تكون طبقة حماية من سلفيد الحديد. طبقة سلفيد الحديد (Iron Sulphide) توفر حماية مؤقتة فقط ، ذلك لأنها تصبح نفاذة لكبريتيد الهيدروجين ويزداد معدل التآكل مع الوقت منتجاً تبثر (Blistering) ، فقد كبير فى المعدن واحتمال القصافة الهيدروجينية. مثبطات التآكل العضوية تزيد من الفترة السابقة لمعدلات التآكل العالية، ولكن طبقة سلفيد الحديد تمنع اقتراب المثبط من سطح الصلب ونتيجة لذلك فإن عملية التآكل يمكن أن تستمر بدون تثبيط. أفضل طريقة للمقاومة الكيماوية ضد تآكل كبريتيد الهيدروجين هى بإزالة سلفيد الهيدروجين من الماء بالتيار المعاكس لتجريد الغاز (Counter Current Gas Stripping) أو بتنظيف الصلب من آن إلى آخر بالحامض لتوفير وصول المثبط إلى سطح المعدن. يمكن تنظيف الصلب جيداً أحيانا ليكون التثبيط مؤثراً وذلك باستخدام عامل بلل قوى (Wetting Agent) .

الاحماض القوية : (Strong Acids) :

تحدث التركيزات العالية للحامض فى عمليات تنظيف الأسطح بالحامض (Picking) ، وفى معالجة آبار الزيت بالأحماض (Acidizing) وأثناء تداول الأحماض للاستخدام فى العمليات الكيماوية . حامض الهيدروكلوريك لجميع التركيزات يتطلب مثبط فى حالة استخدام الصلب. استخدام المثبط فى عمليات استخدام الحامض لنظافة سطح المعدن كذلك يسمح للحامض بإذابة الترسيبات القشرية من الصلب بدون عدوانية شديدة على المعدن. الأحماض المستخدمة فى النظافة يتم تثبيتها جيداً بإضافة حوالى 0.2% من مركب

عضوى مثل الأنيلين، الثيويوريا (Thiourea) أو زيت الخروع الكبريتى (Sulphonated Caster oil). المثبطات الكاثودية مثل أمـــلاح الــزرنيخ (As_2O_3 , Na_3AsO_4) تعتبــر مثبطات جيدة لأحماض نظافة الأسطح المعدنية ولكنها ليست محببة مثل المواد العضـــوية حيث أنها تسبب بثور وقصافه لبعض أنواع الصلب. مركبات الزرنيخ لا يتم اســتخدامها فى السوائل التى يتم فيها استخدام العوامل الوسيطة نظراً لأنها ســامة لمعظــم العوامــل الوسيطة (Catalysts) .

تركيزات حامض الكبريتيك والفوسفوريك حتى 70% يمكن تثبيطها بطرق مشــابهة لتلك المستخدمة لحامض الهيدروكلويك. تركيزات حامض الكبرتيك أعلا من 70% تحدث تآكل بطئ فى الصلب ولا تحتاج تثبيط. حامض الفوسفوريك بدرجة التسميد (Fertilizer Grade) (73% حامض أسود) سريع العدوانية على الصلب وعادة يثبط بواسطة أيوديــد البوتاسيوم. المثبطات العضوية ليست مؤثرة فى حــامض الفوســفوريك المركــز عنــد استخدامها فقط ولكن يكون المطلوب تركيز منخفض من أيوديد البوتاســيوم للتثبــيط إذا أضيفت الأمينات الدهنية كذلك (Fatty Amines) .

هذا التوضيح نحو استخدام وخواص مثبطات التآكل فى السوائل المائية يوضح بعض التداخل المشترك ما بين المثبط والمجال الملاصق. يجب عمل الاختبــارات والتحاليــل بحرص قبل وضع برنامج كبير لمثبط التآكل. عند العمل مع المياه الطبيعية يجب العنايــة الخاصة لمكوناتها، وخاصة بالنسبة لاحتمالات التثبيط ووجود ايونات تتداخل.

النظم الغير مائية : (Non Aqueous Systems) :

التآكل فى النظم الغير مائية مثل الوقود ، مواد التزليج وزيوت الطعام يكــون عــادة بسبب وجود كميات صغيرة من الماء. الماء قليل الذوبان فى منتجات البتــرول وذوبانــه يزداد بارتفاع درجة الحرارة. فى حالة تشبع المذيب الغير مائى بالماء وانخفاض درجــة الحرارة عندئذ ينفصل بعض من الماء حيث يحدث تآكل فى الصــلب الملاصــق لــه. الزيــوت المعرضة لدرجة حرارة مرتفعة فى الهواء كذلك البترول يحتوى على أحماض عضــوية التــى سيتم إستخلاصها بأى ماء موجود لتزيد من معدل تآكل الصلب. تآكل الصلب حيث يــتم تــداول الزيوت الرطبة يمكن تثبيطه بكل من المركبات العضوية والغير عضوية. المركبــات العضــوية

المـــؤثرة تشـــمل مختلـــف الأمينـــات (LecithinK Mercaptobenzothiazole Amines). المثبطات الغير عضوية تشمل نيتريت الصوديوم ، نترات الصوديوم ، الكرومـــات ، لا تستخدم لعدم ثباتها فى وجود المواد العضوية.

كميات صغيرة من الماء تثبط التآكل فى بعض المـــذيبات الغيـــر مائيـــة المـــذيبات المكلوره، مثال، تكون شديدة وسريعة العدوانية على الألومونيوم ولكن وجود الماء يعمـــل على تحلل نواتج التآكل (Hydrolyzes) مكوناً طبقة حماية من إيدروكســيد الألومنيـــوم. الامينات العضوية مؤثرة كمثبطات الأوعية الصلب لإزالة الشحوم المعرضـــة للمـــذيبات الساخنة المكلوره ولكنها لا تحقق الحماية المستمرة للألومونيوم.

آثار من المياه (0.001 %) فى سائل فلوريد الهيـــدروجين يعمـــل كمثـــبط مناعـــة (Passivating Inhibitor) للنيكل. وهذا مثال شديد الأهمية لتداخل التفاعل ما بين المذيب والمثبط. الآلية الصحيحة للتثبيط بالماء فى (HF) غير معروفة ولكن تأثير المناعة يشـــبه لذلك الملاحظ على الصلب فى وجود الكرومات فى المحاليل المائية. الإذابة عامل هـــام يجب أن يراعى عند تقدير مثبطات التآكل للسوائل الغير مائية ذلك لأنها ليس لديها قـــوة الإذابة الشديدة للماء. نظراً لأن المثبط يجب نقله خلال المجال الملاصق إلى الأماكن حيث يحدث التآكل، فإنه يجب أن يكون أما مذاب فى هذا المجال أو منتشر بما فيه الكفاية فـــى نقاط دقيقة جداً بحيث لا يحدث ترسيب. كذلك، فإن المثبط يجب ألا يكون مواد غير مذابة مانعة للتسرب بالتفاعل مع المعادن أو مكونات السوائل الغير مائية. بعض مثبطات التآكل المستخدمة سابقاً فى الجازولين وجد أنها تتفاعل مع الزنك فى خزانات الوقود المجلفنـــة مكونة راسب الذى عمل على انسداد الفلاتر.

اختيار المثبطات فى المجال اللامائى أكثر صعوبة عن المحاليل المائية خاصـــة إذا كان التآكل يرجع إلى انفصال الماء مكوناً نظام من مجالين. هذه الحالة نحو الازدواج فى المعمل صعبة ، منحنيات الاستقطاب لا يمكن استخدامها بكفاءة ذلك لأن معظم المـــذيبات الغير مائية غير موصلة. هذا بالإضافة إلى أن عينات التآكل الموضوعة فى المواسير أو الخزانات الحاملة للوقود أو المنتجات المشابهة يمكن أن تعطى نتائج خاطئة ذلـــك لأنـــه يمكن ألا تلتصق أو تبتل بالمجال المائى.

الاختبار المعملى المقبول لنظام المجالين (المسمى اختبار العجلــة) (Wheel Test) يتكون من البلل لعينة الاختبار بالتبادل بواسطة المجال العضوى والمجال المـــائى وذلـــك بتدوير وعاء محتوى على المجالين. هذا الاختبار مفيد جداً ولكن لا يعتمد عليـــه دائمـــاً بسبب محدودية حجم المذيب وصعوبة تزاوج تأثيرات السرعة والركود فى النظم الحقيقية.

المجالات الغازية : (Gaseous Environments) :

مقدمــــــة :

المجالات الغازية تشمل الجو المفتوح العادى، مجال البخار فى الخزانـــات، الغـــاز الطبيعى فى الآبار والحيز الفارغ فى حاويات التعبئة. هناك كذلك، فإن الماء والأكســـجين هما عوامل العدوانية الرئيسية ولكن المشكلة الرئيسية نحو توفير المثبط هى انتقال المثبط من المصدر إلى الأماكن حيث يحدث التآكل.

الجو العادى المفتوح : (The Open Atmosphere) :

مثبطات التآكل فى الجو المفتوح تستخدم مباشرة على أســـطح المعـــادن المطلـــوب حمايتها. الطريقة الشائعة هو باستخدام الكرومات (Chromates) فى البويـــات. تســـتخدم كرومات الزنك والرصاص الأحمر فى طبقات البطانة. رؤوس مسامير البرشام تغطـــى بردغه (Slurry) من كرومات الزنك. عند دفع مسمار البرشام ضد سطح آخـــر تنفجـــر كبسولات كرومات الزنك (Microen Capsulated Zin Chromate) لتوفير مثبط مستمر للفجوات أسفل رأس مسمار البرشام. لا تستخدم المثبطات المتطايرة فى الجو المفتوح ذلك لأنها غير عملية ولا يمكنها تشبع الحيز البخارى.

حيز البخار المغلق : (Closed Vapour Space) :

حوائط الخزانات فوق خط المياه معرضة للتآكل الحاد بسبب الرطوبة النسبية التـــى تكون مرتفعة دائماً وزيادة الأكسجين إذا تم تصريف الخزان نحو الهواء الجوى. عندما لا يكون تلوث الماء عامل، فإن طبقة الزيت على السطح تساعد على اســـتمرار الرطوبـــة المنخفضة ومع ارتفاع المنسوب وانخفاضه تكون الجدران مغطاة بطبقة من الزيت. الزيت يمكن أن يحتوى على مثبط عضوى وعامل مساعد (عادة Amine) ليعمل علـــى انتشـــار

الزيت على سطح المعدن. طبقة الزيت المحتوية على 15% من دهن الصوف (Lanolin) تستخدم فى خزانات صابورة (Ballast لحفظ التوازن) السفن لمقاومة التآكل.

الآبار غالباً ما تتآكل فى منطقة الرجوع أو الارتداد (Refluxzone) والتى هى منطقة فى البئر ما بين القاع ورأس البئر حيث يحدث التكثف. مع تـدفق الغـاز لأعـلا البئـر فتنخفض درجة حرارته بسبب التمدد وهذا يسبب التكثف عند وصول درجة الحرارة إلى نقطة الندى (Dew Point) للغاز. المثبطات المتطايرة مثل الفورمالدهايد والأمونيا التـى تحقن فى الآبار قد استخدمت بنجاح لتثبيط التآكل فى آبار الغاز. كثيراً من آبار الغاز يتم حمايتها حالياً بحقن مثبطات الأمينات (Amines) باستمرار بالضخ المتتـابع (Slugs) أو الحشر ، بحيث يمكنها تغطية البئر عند الحقن وكذلك تدخل تدفق الغاز جزئيـاً بـالتبخير وجزئيا بالحجز. بعض آبار الغاز يتم حمايتها لسنين بمجرد الحشر لكمية من المثبط فـى مكونات التربة المنتجة للغاز.

المواد المعبأة : (Packaged) :

يمكن حمايتها من التآكل بعدة طرق العبوات التى يمكن تغليفهـا (Sealed) والتـى تحتوى على أجزاء لا يمكن تغطيتها باستخدام المثبط أو تعرضها لمثبطات متطايرة (مثل القطـع الاليكترونيه) يتم حمايتها بوضع ماص للرطوبة (مجفف) مثل السليكاجيل فى العبـوة للمحافظـة على أدنى مستوى من الرطوبة. مثبطات مجال البخـار (VPI – Vapour Phase Inhibitor) يمكن وضعها فى العبوة أو بتغليف الآلة فى ورق مشبع بمثبطات مجال البخار.

هذه المركبات متطايرة بما يتطلب أن يكون لحام العبوه جيداً. مادة مثبط مجال البخار المستخدم عادة هى مادة :

Dicyclohexy Lamine Nitrite (DHN) and Dicyclohexy Lamine Carbonate (DHC).

هذه المثبطات مؤثرة جداً للصلب ولكن يجب اختبارها فى حالة وجود معادن أخرى بخلاف الصلب ذلك لأنها عدوانية على بعض المعادن الغير حديدية. التغطية بالمثبطـات توفر طريقة مؤثرة وغير مكلفة للحماية من التآكل للمواد المعبأة.

المعادن شديدة الحساسية لكبرتيد الهيدروجين مثل النحاس والفضة تتم حمايتها بحفظها فى ورق مشبع بمركبات النحاس أو الزنك. هذه المواد ليست مثبطات تآكل بالمعنى الحقيقى ذلك لأنها تمتص مركبات الكبريت الغازية لمنع التفاعل مع الفضة أو النحاس.

تأثير درجات الحرارة المرتفعة :

معظم تأثيرات ارتفاع درجات الحرارة هى إعاقة عمل مثبط التآكل. درجات الحرارة المرتفعة تزيد من معدل التآكل (حوالى الضعف لكل زيادة فى درجة الحرارة 20 درجة فهرنهيت) وانخفاض استعداد المثبط للامتصاص على سطح المعدن. المثبطات المكونة للترسيبات أقل تأثيراً عند درجات الحرارة المرتفعة بسبب زيادة الإذابة لرواسب الحماية.

الثبات الحرارى لمثبطات التآكل يعتبر عامل هام عند درجات الحرارة العالية. فمثلاً، البولى فوسفيت (Polyphosphates) يتحلل بالماء الساخن مكوناً الأورثوفوسفيت (Orthophosphates) والذى قدرته على التثبيط أقل. معظم المركبات العضوية تكون غير ثابتة عند درجة حرارة أعلا من 204^5م لذلك فإنها توفر تثبيط مؤقت.

فى النظم المائية المتعادلة أو قليلة القلوية يحدث التآكل للصلب بمعدل منخفض جداً شريطة عدم وجود الأكسجين عند درجات الحرارة المرتفعة، وأن تكون أسطح الصلب نظيفة. هذا المبدأ هو الأساس لمعالجات المياه لمنع حدوث التآكل، حيث تصمم المعالجة لتوفير القلوية وإزالة الأكسجين لمنع ترسيب القشور. فى المياه الساخنة الخالية من الأكسجين تتم حماية الصلب بتكون طبقة حماية من الماجنيتيت (Magnetite Fe_3O_4) والتى تتكون بتفاعل الحديد مع الماء



$$3Fe + 4H_2O \longrightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$$

فى حالة وجود الأكسجين عندئذ يتكون Fe_2O_2 الذى لا يوفر الحماية عند درجات الحرارة المرتفعة يزال الأكسجين بسرعة من مياه الغلايات بالتفاعل مع سلفيت الصوديوم (Sodium Sulphite) أو الهيدروجين (Hydrazine) . الهيدروجين يفضل ذلك لأنه لا يعمل على زيادة المحتوى من الأملاح فى الغلاية، بالإضافة إلى أنه يتفاعل أسرع من

سلفيت الصوديوم عند درجات الحرارة المرتفعة، الجرعة المطلوبة للتفاعل مع كمية معينة من الأكسجين تكون أقل كما أنه أسهل فى الاستخدام لكونه سائل.

مياه الغلايات تظل عند الرقم الهيدروجينى القلوى لتسهيل تكون واستمرار طبقة الحماية من (Fe_2O_3). كذلك يكون المطلوب استخدام إضافات التى ستحمل إلى خطوط تكثيف البخار لاستمرار حالة القلوية فى هذه الأماكن كذلك. المستخدم هو مركبات الأمينات المتطايرة (Volatile Amines) مثل الأمونيا، المورفولين، السيلكو هكزايل أمين (Cyclohexyl amine).

ترسيب القشور (Scales) فىالغلايات يقلل الانتقال الحرارى ويحدث تآكل من النوع النقبى. عادة تستخدم وحدات إزالة عسر المياه لمعالجة مياه التغذية للغلايات لإزالة أيونات العسر من الكالسيوم والمغنسيوم والحديد ، ولكن مثبط تآكل لهذه القشور يتم عادة إضافته مثل فوسفات الصوديو (Sodium Phosphate) الذى يضاف عادة كذلك. أملاح الفوسفات هذه تمنع حدوث هذه القشور التى ترسب بزيادة التشبع الزائد فى الماء لكل من $CaSO_4$, $CaCO_3$ (Supersaturation).

ارتفاع درجات الحرارة يزيد من معدل التآكل للمعادن فى الأحماض ذلك لأن القوة الدافعة لتفاعلات الأنود والكاثود تزداد وتنخفض الجهد الزائد (Over Voltage) للهيدروجين. عوامل أخرى مثل زيادة الإذابة لنواتج التآكل وزيادة معدل إذابة أكاسيد المعدن تزيد كذلك من معدل التآكل.

بينما يتم تداول الأحماض الساخنة جيداً بالسبائك المقاومة أو الصلب المغطى، غلا أن الاستثناء هو تحميض آبار الزيت (Acidizing) . ليس مناسب من الناحية العملية تغطية أو تبطين قيسون بئر الزيت ذلك لأن التغطية يتم اتلافها فوراً عند إدخال الآلات..الخ. كذلك فإن درجة حرارة قاع آبار الزيت تكون عادة ما بين 93 – 149^{5}م وأحياناً ترتفع إلى 232^{5}م. المثبطات للأحماض المستخدمة لزيادة نقاذية التربة المنتجة للزيت (عادة حامض الهيدروكلوريك) تكون مؤثرة حتى 120^{5}م ولكن غير مناسبة أعلا من درجة الحرارة هذه. المثبطات المستخدمة هى عادة من نوع الأمين (Amine Type) لتثبيط المعالجة بالحامض لآبار الزيت.

أنواع المثبطات : (types of Inhibitors) :

سيتم مناقشة خمسة أنواع من المثبطات وهي المحققة للمناعة (Possivating)، الكاثودية، العضوية، المسببة للترسيب ، المثبطات ذات المجال البخارى.

المثبطات المسببة للمناعة (Passivating Inhibitors) :

المثبطات المسببة للمناعة هى من أكثر المثبطات تأثيراً حيث أنها يمكن أن توقف التآكل تماماً. ولكنها تعرف كذلك بالمثبطات الخطرة حيث أنها فى ظروف خاصة يمكن أن تعجل التآكل.

يوجد نوع من المثبطات المسببة للمناعة الآن أيونات المؤكسدة مثل الكرومات (Chromates)، النيتريت (Nitrite) ، والنترات والتى يمكن أن تحقق المناعة للصلب فى عدم وجود الاكسجين، والأيونات الغير مؤكسده مثل الفوسفات، التنجستن والمولبدينوم والتى تتطلب وجود الأكسجين لتحقيق المناعة للصلب.

الآلية (Mechanism) : آلية تحقيق المناعة للصلب بالكرومات تبدو أن الحماية تتم بواسطة كلاً من الادمصاص وتكون الأكسيد على سطح الصلب. الادمصاص يساعد فى استقطاب الأنود إلى الجهد الكافى لتكوين طبقة رقيقة جداً من اكسيد الحديديك لحماية الصلب ، الأدوات التى يتم حمايتها بالكرومات تظل لامعة فى المجالات العدوانية الأخرى. طبقة الأكسيد هى عبارة عن خليط من أكاسيد الحديديك والكروميك وتظل فى حالة جيدة بالادمصاص والأكسدة مع فقد قليل جداً من المعدن طالماً ظل الكرومات كافيا فى المحلول.

المثبطات المسببة للمناعة تكون معجلة للتآكل عند التركيزات المنخفضة ذلك لأنها مانع جيد لاستقطاب الكاثود. طبقة الأكسيد المسببة للمناعة تكون موصلة وكاثودية بالنسبة للصلب، لذلك فإن الصلب ذو المناعة يتكون غالباً وكلية من مساحات كاثودية. عند اختراق طبقة المناعة بالخدش أو الإذابة وعند عدم توفر الكرومات الكافى لإصلاح الطبقة، عندئذ فإن الصلب المعرض يصبح منطقة أنودية صغيرة وسط منطقة كاثودية كبيرة من طبقة مناعة حيث يحدث على هذه المنطقة الأنودية تآكل موضعى، يما ينتج

عنها تآكل ثقبى فى المعدن. خفض الكرومات عند الأماكن الكاثودية يوفر تيار كاثودى يساعد على استمرار المعدل العالى للاختراق. آلية النيترويت والنترات تشبه تلك للكرومات. عوامل المناعة الغير مؤكسدة هى كذلك خطرة عند استخدامها بكميات غير كافية ذلك لأن الأكسجين اللازم لتوفير المناعة هو مانع جيد للاستقطاب الكاثودى. عملياً تتم تحقيق المناعة للصلب فى أى محلول مائى عدا تلك التى تحتوى على مواد فى المحلول يسهل أكدتها، أو تركيزات عالية من أيونات الكلوريد، فمثلاً ، لا يتم استخدام الكرومات (Chromate) فى البنية الحامضية المحتوية على كبريتيد الهيدروجين ذلك لأنها تفقد بأكسده السلفيد إلى الكبريت الحر. التركيزات العالية لأيون الكلوريد تمنع حدوث المناعة ذلك لأنها تنافس الكرومات فى الادمصاص، وبذا تمنع استقطاب الأنودات. وهى كذلك تمنع ترسيب أكاسيد الحماية بتكوين معقد مذاب مع أيونات الحديديك.

للتركيز المناسب للمثبط المسبب للمناعة، فإنه يوجد تركيزا لأيونات الكلوريد والكبريتات التى تسبب المناعة. الجدول (4/1) يوضح بيان التركيزات الحرجة من كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم اللازمة لإحداث التآكل الثقبى للصلب فى وجود تركيزات مختلفة من كرومات الصوديوم ونيتريت الصوديوم. والتركيزات الحرجة تتغير طبقاً لعوامل أخرى، فمثلاً زيادة الكلوريد أو الكبريتات سيكون مطلوباً لإزالة المناعة (Depassivation) مع انخفاض درجة الحرارة، لزيادة تركيز الأكسجين أو انخفاض الرقم الهيدروجينى.

جدول (4/1) التركيز الحرج لكلوريد الصوديوم أو كبريتات الصوديوم حيث زيادته تحدث تآكل ثقبى للحديد فى محاليل الكرومات أو النيتريت.

اختبار خمسة أيام – عند 25^{5}م ، محاليل راكدة			
المثبط	التركيز جزء فى المليون	التركيز الحرج جزء فى المليون	
		NaCl	Na_2SO_4
$NaCrO_4$	200	12	55
	500	30	120
	50	210	20
	100	460	55
$NaNO_2$	500	2000	450

يجب التآكيد على أن التركيزات الحرجة الموضحة بسبب التغير في السرعات وظروف السطح للمعدن، تركيز المثبط يجب المحافظة عليه بما لا يقل عن ضعف المستوى المطلوب لمنع حدوث التآكل الثقبى. عند حساب كمية الكرومات المطلوبة لتوفير المناعة، يجب عمل التجاوز للمثبط الذى يستهلك أولا فى توفير طبقة المناعة. كمية كرومات الصوديوم المستهلكة لعمل المناعة للصلب فى محلول كلوريد الصوديوم موضحة فى الجدول (4/2). فمثلاً إذا كان المطلوب المحافظة على تركيز 250 جزء فى المليون من كرومات الصوديوم فى الماء المحتوى على 1000 جزء فى المليون من كلوريد الصوديوم، عندئذ بالرجوع إلى الجدول (4/2) فإنه يتم إضافة 1.3 رطل من كرومات الصوديوم لكل ألف قدم مربع من الصلب المعرض بالإضافة إلى الكمية المطلوبة لتحقيق التركيز 250 جزء فى المليون .

جدول (4/2) كمية كرومات الصوديوم المستهلكة بالصلب فى خمسة أيام لتحقيق المناعة فى محاليل كلوريد الصوديوم

كرومات الصوديوم جزء فى المليون	رطل/1000 قدم مربع من كرومات الصوديوم التى تستهلك فى ماء محتوى على كلوريد صوديوم	
	10 جزء فى المليون	1000 جزء فى المليون
15	1.0	-
50	1.3	-
100	0.5	1.1
250	0.3	1.3
500	0.1	0.7
100	0.1	0.7

المثبطات الكاثودية: (Cathodic Inhibitors) :

التثبيط بالاستقطاب للتفاعل الكاثودى يمكن تحقيقه بعدة طرق حيث تم تناول عدة أمثلة. العوامل الثلاث الرئيسية ذات التأثير على تفاعل الكاثود هى سمية الكاثود، وترسيبات الكاثود، مواد الكسح أو النظافة (Scavengers) .

*** سميات الكاثود : (Cathode Poisons) :**

سميات الكاثودية هى المواد التى تتداخل مع التفاعلات لتكوين ذرات الهيدروجين أو اتحادها لتكوين غاز الهيدروجين على سطح المعدن المتآكل. معدل تفاعل الكاثود يصبح بطيئاً ولأن التفاعلات الأنودية والكاثودية يجب أن تستمر عند نفس المعدل، عندئذ فإن كل عملية التآكل تصبح بطيئة.

بينما بعض السميات الكاثودية مثل السلينيدز (Selenides) يتم ادمصاصها على المعدن، فإن معادن أخرى مثل الزرنيخ، الانتيمون، البزمت (Bismuth) تختزل عند الكاثود لترسيب طبقة من المعادن. السلفيدات والسيلينيدز (Sulphides , Selenides) عموماً ليست مثبطات مفيده، ذلك لأنها لا تذوب فى المحاليل الحامضية، وهى ترسب كثيراً من أيونات المعادن وهى سامة. تستخدم الأرزينات (Arsenates) لتثبيط التآكل فى الأحماض القوية ولكن فى السنين الماضية أصبح الاعتماد على المثبطات العضوية بسبب سمية الزرنيخ.

رواسب الكاثود (Cathode Preciptiates) :

من أكبر أنواع رواسب الكاثود المستخدم كمثبطات هى كربونات الكالسيوم والمغنسيوم ذلك لأنها توجد فى المياه الطبيعية والتثبيط بهم يتطلب فقط ضبط الرقم الهيدروجينى. كبريتات الزنك ترسب كايدروكسيد الزنك على مناطق الكاثود وتعتبر مثبط من هذا النوع. الفوسفات والسيليكات ليست تحديداً مثبطات كاثودية أو أنودية ولكن تبدو كجمع بين النوعين.

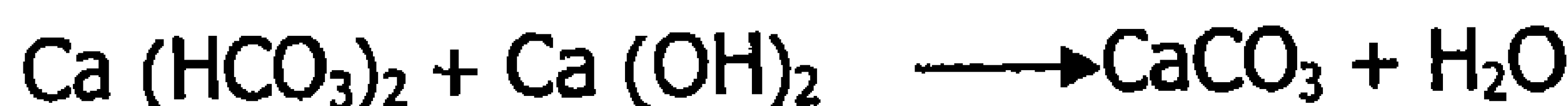
كثيراً من المياه الطبيعية وإمدادات المياه للاستخدام المنزلى تحتوى على كربونات الكالسيوم فى المحلول . يتفاعل الحجر الجيرى يذوب فى الماء طبقاً للتفاعل الآتى مكوناً بيكربونات الكالسيوم المذابة.



$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

غير مذاب مذاب

يمكن أن ترسب $CaCO_3$ ثانياً مكونة عالق أبيض بلون اللبن وذلك بزيادة قلوية محلول بيكربونات الكالسيوم أو بزيادة أيونات الكالسيوم. عادة يضاف لبن الجير لتحقيق الهدفين فى نفس الوقت.



$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

الغرض من تثبيط معالجة المياه هى لزيادة قلوية الماء لمجرد الوصول إلى الرقم الهيدروجينى الذى عنده يحدث ترسيب كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) . فى حالة زيادة الرقم الهيدروجينى المناسب لمجرد الترسيب لكربونات الكالسيوم عندئذ تكون الترسيبات من كربونات الكالسيوم مساميه ولزجة والتى لا توفر الحماية من التآكل وقد تعمل على زيادة التآكل بإيجاد خلايا تركيز محاطة بالأكسجين. عند الرقم الهيدروجينى الصحيح يكون الراسب صلب إلى حد ما وناعم ويشبه قشر البيض. بمجرد تكون راسب الحماية فإنه يجب المحافظة على الرقم الهيدروجينى للماء عند مستوى الاتزان (Equilibrium) ذلك لأنه إذا تحول إلى حالة الحموضة فإنه سيعيد إذابة راسب الحماية. الطريقة المناسب لتقييم حالة الماء لترسيب كربونات الكالسيوم هى مخطط لانجيليير للتشبع(Langelier Saturation Index) والذى هو الفرق بين الرقم الهيدروجينى للماء (pH) والرقم الهيدروجينى للازم لترسيبه $CaCO_3$ ويرمز له بالرمز (pHS). لتعيين ما إذا كان الرقم الهيدروجينى (pHS) عند نقطة الاتزان ، فإنه يتم معايرة قلوية الماء قبل وبعد القيام بالرج مع بعض من الحجر الجيرى. إذا كانت عمليتى المعايرة (Two Titrations) متساويتين بكون الرقم الهيدروجينى صحيح. إضافة كبريتات الزنك إلى الماء المتعادل يسبب استقطاب للتفاعل الكاثودى بترسيب أيدروكسيد الزنك. رغم أن كثيراً من أيونات المعدن تكون أيدروكسيدات غير مذابة ، إلا أن القليل منهم هو المفيد كمثبط للتآكل. أيونات النحاس والنيكل تختزل على الصلب الذى يتآكل لتكوين راسب الذى له زيادة قليلة الفوليته الهيدوجينى (Low Hydrogen Over Voltage) ، وبذا يمكنه أن يسبب زيادة فى معدل التآكل . بينما مركبات الرصاص هى كذلك تختزل ولكنها تكون راسب مثبط للتآكل، أملاح الرصاص سهلة الترسيب من المحلول ولذلك فإنها نادراً ما تستخدم كمثبطات للتآكل.

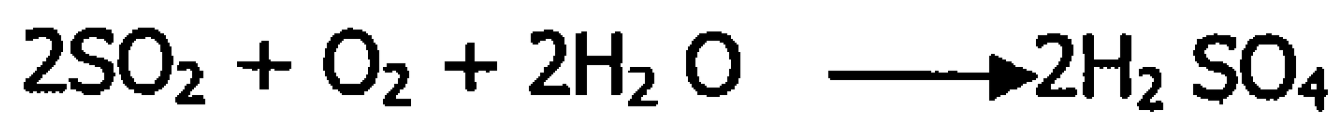
إزالة الأكسجين : (Oxygen Scavengers) :

تآكل الصلب فى الماء عند رقم هيدروجينى أعلا من حوالى (6) يكون بسبب وجود أكسجين مذاب والذى يزيل استقطاب التفاعل الكاثودي. المياه المتعادلـــة ذات المحتـــوى المنخفض من الأملاح التى تكون فى حالة اتزان مع الهواء عند 21ْم تحتوى على 8 جزء فى المليون من الأكسجين المذاب. تركيز الأكسجين يقل مع زيادة تركيز الأملاح وزيـــادة درجة الحرارة . فقط ان جزء فى المليون من الأكسجين يكون لازمـــاً لزيـــادة معـــدلات التآكل بشدة فى النظم الديناميكية المتحركة. ولكن فى النظم الاســـتاتيكية الثابتـــة يكـــون مطلوب تركيز أعلا من الأكسجين لزيادة معدل التآكل بشدة ذلك لأن تفاعل التآكل يقلـــل من الأكسجين فى المكان القريب للمعدن مباشرة. توجد أجهزة لقياس تركيـــز الأكســـجين المذاب بدقة إلى أقل من 0.1 جزء فى المليون فى المياه الخالية من كبريتيد الهيـــدروجين (Sweet Water) .

تضاف مزيلات الأكسجين إلى الماء إما منفرداً أو مع مثبط لإعاقة التآكل. مثبطـــات التآكل العضوية فقط فى المياه المالحة المهواة تعمل على تبطئ معدل التآكل العام، ولكنها لا تمنع حدوث التآكل الثقبى. المزيل العادى المستخدم فى الماء عند درجة الحرارة العادية هو سلفيت الصوديوم (Sodium Sulphite) وثانى أكسيد الكبريت وهـــذه المـــواد تزيـــل الأكسجين طبقاً للمعادلات الآتية :



$$2Na_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2Na_2SO_4$$



$$2SO_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$$

من هذه التفاعلات يمكن حساب كمية سلفيت الصوديوم أو ثانى أكسيد الكبريت اللازم للتفاعل مع كمية الأكسجين الموجودة فى الماء.

مثـــــال :

عندما يكون المطلوب تفاعل كبريتيت الصوديوم أو ثانى أكسيد الكبريت مـــع كميـــة 0.1 جزء فى المليون من الأكسجين المذاب كالآتى :

من المعادلات السابقة يلاحظ أن 2 جزئ من سلفيت الصوديوم تتفاعل مع جزئ من الأكسجين المذاب. الوزن الجزئ لسلفيت الصوديوم هو 126 (حيث $Na_2 SO_3$ = 2 × 23 للصوديوم + 1×32 للكبريت + 3 × 16 للأكسجين = 126).

وللأكسجين هو 32 (16 للأكسجين × 2 = 32) لذلك 2 × 126 جرام من سلفيت الصوديوم تتفاعل مع 32 جرام من الأكسجين. عندئذ فإن جرام واحد من الأكسجين يحتاج إلى 252 × 32 = 7.9 جرام من سلفيت الصوديوم، ولتقييم النتائج جزء في المليون فإن واحد جزء فى المليون من الأكسجين يحتاج إلى 7.9 جزء فى المليون من سلفيت الصوديوم. وبالمثل بالنسبة لثانى أكسيد الكبريت (SO_2) حيث الوزن الجزئى هو (S = 32، O_2 = 16×2 إذن SO_2 = 32 + 32 = 64) أى أن جزء واحد فى المليون من الأكسجين يحتاج إلى 128 ÷ 32 4 جزء فى المليون من SO_2.

معدل تفاعل الكبريتيت مع الأكسجين عند درجة الحرارة المنخفضة يكون منخفضاً، لذلك فإنه عادة ما يضاف عامل وسيط. بينما أملاح الكوبالت والمنجنيز هى من أفضل العوامل الوسيطة، إلا أن الكوبالت يساعد على زيادة معدل التفاعل أكثر. النحاس لا يضاف إلى النظم من الصلب نظراً لأنه يخفض الفوليتة العالية للهيدروجين. ولذلك فإن الكوبالت هو المفضل والمنجنيز هو البديل الثانى القريب.

الهيدروجين يتفاعل ببطئ شديد مع الأكسجين فى الماء عند درجات الحرارة المنخفضة فى عدم وجود عامل وسيط. هذه الخاصية بالإضافة إلى مخاطر الهيدروجين عند التداول بواسطة عناصر غير مدربة أدى إلى الحد من استخدامه للمياه ذات درجة الحرارة المنخفضة. فى غلايات الضغط العالى يكون الهيدروجين هو المفضل للتخلص من الأكسجين.

المثبطات العضوية : (Organic Inhibitors) :

تزداد كفاءة الأمينات العضوية (Organic Amines) كمثبطات تآكل عند وجود أيون هالوجين معين . أيونات الهالوجين وحدها تثبط التآكل إلى حد ما فى المحاليل الحامضية. أيون اليود (`I) هو الأكثر تأثيراً ، يليه أيون البروميد (`Br) ، ثم الكلوريد (`Cl). ولكن

الفلوريد (F^-) ليس له خاصية تثبيط واضحة. فمثلاً أيونات الكلوريد تقلل من معدل التآكل للصلب بواسطة حامض الكبريتيك. الجمع بين الأمينات (Amines) والكلوريدات يمكن أن يكون أكثر تثبيطاً عند إضافة أى منهما فقط، أى أن كلاهما متعاون.

المواد العضوية تكون نوعيات متعدة من مثبطات التآكل والتى لا يمكن اعتبارها كاثودية أو آنودية. التأثيرات الكاثودية أو الآنودية فقط تلاحظ أحياناً فى وجود المثبطات العضوية ولكن كقاعدة عامة فإنها تؤثر على كل السطح للمعدن الذى يتآكل عند وجودها بتركيزات كافية . من المحتمل أن يحدث التثبيط لكل من المساحات الآنودية والكاثودية ولكن بدرجات مختلفة طبقاً لجهد المعدن، التركيب الكيماوى لجزئ المثبط وحجم الجزئ . الزيادة فى تثبيط التآكل مع زيادة تركيز المثبط تعود إلى أن التثبيط هو نتيجة امتصاص المثبط على سطح المعدن. الطبقة التى تتكون بالامتصاص للمثبطات العضوية المذابة تكون بسمك عدة جزئيات قليلة بحيث لا ترى.

المثبطات الكاتايونية مثل الأمينات (Amines) أو المثبطات الآن آيونية مثل السلفونيت (Sulphonates) يحدث لها امتصاص تفضيلى طبقا لشحنة المعدن سواء كانت سالبة أو موجبة بالتتالى بالنسبة للمحلول. الجهد البينى الذى عنده لا يتم تفضيل الجزئيات الكاتونية أو الآن أونية يعرف بنقطة الصفر للشحنة (ZPC- Zero Point of Charge). لذلك فإن الجمع بين الحماية الكاثودية والمثبط الذى يتم امتصاصه أقوى عند الجهود السالبة يعطى تثبيط أعلا من أى من الحماية الكاثودية أو المثبط عند استخدام أى منهما وحده.

تأثير التركيب الجزيئى : Effects of Molecular Structure :

الأمينات الأولية (Primar Amines) هى أكثر كفاءة كمثبطات مع زيادة طول التسلسل (Chain Length)، ولكن بالمقارنة الأليفات الأولية (Primary Aliphatic Mercaptants) وبعض الألدهايدز (Aldhydes) تقل كفاءتها مع انخفاض طول التسلسل. من المحتمل أن تكون هذه النتائج بسبب تداخل عدة عوامل والتى تؤثر على قوة رباط الامتصاص، الدمج للطبقة الممتزة واستعداد الجزئيات الممتزة للتقاطع أو للتفاعل مع جزئيات مجاورة.

الإدمصاص (Adsorbtion) :

بالنسبة للمثبطات العضوية المذابة العامل الهام هو قوة رباط الادمصاص (Adsorbtion Bond). ادمصاص المثبط من محلول يحقق الإتزان الآتى :



I solution ⇌ I surface

حيث (Isolution) هى المثبطت العضوى المذاب. من خاصية هذا الاتزان أنه فى حالة تغير تركيز أن من الحالتين سيغير من الآخر للمحافظة على حالة الاتزان. لذلك فإن كمية المثبط على السطح ستزداد مع زيادة التركيز فى المحلول (Isolution) أى تركيز المثبط فى المجال المستخدم . كفاءة التثبيط تزداد بزيادة التركيز حتى تشبع السطح أى أنه امتص جزئيات المثبط على الأماكن المتاحة. لذلك فإن رباط الادمصاص يزداد بانخفاض تركيز المثبط فى المحلول اللازم للحصول على تغطية مطلوبة للسطح. المثبطات المذابة تكون طبقة حماية فقط ذات سمك عدة جزئيات ولكن فى حالة إضافة مثبط غير مذاب كمادة منتشرة (Dispersion) كنقاط صغيرة فإن الطبقة يمكن أن يزداد سمكها لعدة بوصات. هذه الطبقات تبين الاستمرار الجيد أى أنها تستمر فى تثبيط التآكل لفترة زمنية، عندما لا يتم ضخ المثبط فى المجال الملاصق للمعدن. الاستمرارية خاصية هامة عندما يمكن حقن المثبطات فى النظام فقط على دفعات.

مثبطات الترسيب : (Precipitation Inhibitors) :

المثبطات المؤدية إلى الترسيب هي مركبات مكونة لطبقات عزل على سطح المعدن والتى تتداخل مع كل من الآنودات والكاثودات مباشرة. من بين المثبطات العادية فى هذا المال هى أملاح السليكات والفوسفات. فى المياه القريبة من التعادل المحتوية على تركيز منخفض من الكلوريدات فإن أملاح السيليكات والفوسفات تسبب المناعة للصلب عند وجود الأكسجين لذلك فإن هذه الأملاح تعمل كمثبطات آنودية. ظاهرة آنودية أخرى وهى أن التآكل يكون موضعى فى شكل تآكل ثقبى عند إضافة كميات غير كافية من السيليكات أو الفوسفات إلى المياه المالحة . كلا من السيليكات والفوسفات تكون ترسيبات على الصلب الذى يزيد من الاستقطاب الكاثودى ، لذلك فإن أداءها يبدو مختلط أى الجمع ما بين كلا من التأثيرات الآنودية والكاثوديه .

تستخدم السيليكات عادة فى المياه ذات الملوحة المنخفضة المحتوية على الأكسجين– ولها الخاصية النادرة لتثبيط التآكل للصلب الذى تم تغطيته بالصدأ .

بينما تركيز السيليكات المطلوب للحماية يتوقف على ملوحة المياه ، فى معظم إمدادات مياه الإستخدام المنزلى يكون المطلوب من 5-10 جزء فى المليون فى المراحل الأولى يليها تدرج فى الخفض إلى حوالى 2-3 جزء فى المليون بعد استقرار ترسيبات الحماية . نظراً لأن السيليكات تحتوى على حديديك فإنه يعتقد أن وجود أيونات الحديديك فى الماء يكون أساسى لتكوين راسب الحماية . التركيزات العالية من الكالسيوم والمغنسيوم تتداخل مع التثبيط بالسيليكات ، ولكن هذه المشكلة عادة يتم التغلب عليها بإضافة 2-3 جزء فى المليون من البولى فوسفيت بالإضافة إلى السيليكات . تستخدم سيليكات الصوديوم فى كثير من نظم إزالة عسر المياه وذلك لمنع حدوث المياة الحمراء أو صدأ المياه يكون بسبب المادة العالقة من إيدروكسيد الحديديك . السيليكات تزيل الحديد بالترسيب لذلك فإنها لا تستخدم حيث تكون الترسيبات (Scales) لا يمكن قبولها .

فى نظم المياه المهواة الساخنة سيليكات الصوديوم تحمى الصلب ، النحاس ، النحاس الأصفر . ولكن غالباً ما تكون الحماية غير محققة للغرض وتتوقف على الرقم الهيدروجينى ومكونات الماء . أفضل طريقة هي بضبط مخطط لانجيليير للتشبع الذى سبق وصفه لتسهيل تكون طبقة حماية المحتوية على السيليكات .

الفوسفات (Phosphates) مثل السيلكيات تتطلب الاكسجين للتثبيط المؤثر . تركيز (Sadium Hexameta Phosphate) $(Na\ PO_4)_6$ هكذا ميتا فوسفات الصوديوم بحوالى 10 جزء فى المليون . يوفر تثبيط التآكل فى المياة المهواه فى حالة أو أن المياه تكون متحركة وليست ساكنة – فى المناطق حيث المياه الراكدة يمكن أن يزداد التآكل.

ولكن بسبب تكون خلايا تركيز الأكسجين بالإضافة إلى الحركة فإن وجود آيونات الكالسيوم يكون أساسى للتثبيط . أملاح الفوسفات تثبط ترسيب كربونات الكالسيوم ، لذلك فإن تركيز كلا من الفوسفات والكالسيوم يجب أن يكون متوازناً لتحقيق التثبيط المؤثر. كقاعدة عامة فإن الفوسفات يجب إلا يزيد عن ضعف تركيز كربونات الكالسيوم. لذلك إذا كان محتوى الماء 10 جزء فى المليون من كربونات الكالسيوم عندئذ يمكن استخدام حتى

20 جزء فى المليون من الفوسفات للتثبيط. فى حالة المياه شديدة اليسر يمكن زيادة الكالسيوم بإضافة لبن الجير (Lime).

أبراج التبريد الصناعية يمكن تثبيطها بحوالى 50 جزء فى المليون من هكزاميتا فوسفيت فى حالة عدم إمكان استخدام الكرومات (Chromate) بسبب الفقد فى الهواء المضطرب أو الصرف حيث تحدث مشاكل بسبب سمية الكرومات. إضافة أملاح الزنك المذابة عادة تعمل على تحسن التثبيط بواسطة البولى فوسفيت. يمكن تجنب حدوث التآكل الثقبى وتكون قشور الترسيبات الزائد بالمحافظة على الرقم الهيدروجينى ما بين 6 ، 7 . السيليكات والفوسفات لا تحقق درجة الحماية التى يمكن أن تحققها الكرومات والنيتريت. ولكن تفيد حيث يتطلب الأمر عدم وجود إضافات سامة. السلبية الرئيسية هى اعتمادهم على مكونات الماء وكذلك متطلبات التحكم الجيد للحصول على أقصى تثبيط.

مثبطات مجال البخار : (vapor Phase Inhibitors) :

مثبط المجال البخارى هى عادة مركبات التى تنقل فى النظام المغلق إلى مكان التآكل بالتبخر من المصدر. فى الغلايات، مركبات التطاير القلوية مثل المورفولين (Morpholine) أو الإيثلين داى أمين (Ethylene Diamine) تنقل مع البخار لمنع التآكل فى أنابيب المكثفات بمعادلة ثانى أكسيد الكربون الحامضى. المركبات من هذا النوع تثبط التآكل بتحويل المجال الملاصق إلى الحالة القلوية. فى مساحات البخار المغلق مثل حاويات السفن، فإنه تستخدم مواد صلبة قابلة للتحول إلى الحالة الغازية مثل مركبات:
(Nitric, Carbonate, and Benzoate Salts of Dicychlohexy Lamine, Cyclohyxly amine and Hexamethlene – imine).

آلية عمل المثبط بهذه المركبات يبدو فى أن الجزء العضوى فى الجزئ هو الذى يوفر التطاير . عند الالتصاق بسطح المعدن تتكثف أبخرة المثبط ويحدث لها التحلل بوجود أى رطوبة لإطلاق النيتريت، البنزوات أو البيكربونات. نظراً لوجود أكسجين وافر فإن أيونات النيتريت والبنزوات تكون قادرة على تحقيق المناعة للصلب كما تفعل فى المحلول المائى. آلية الكربونات قد لا تكون هى نفسها وهذا الجزء العضوى من الأمين

(Amine) لمثبط المجال المتطاير يمكن أن يعمل فى مساعدة التثبيط بالادمصاص وبتوفير القلوية.

يكون المطلوب لمثبطات المجال المتطاير أن يوفر التثبيط بسرعة ويكون له الوقت للاستمرار. لذلك، فإن المركب يجب أن يكون له القدرة العالية على التبخر لتشبع كل المساحة المتاحة بأسرع ما يمكن وفى نفس الوقت يجب ألا يكون عالى التبخر حيث يمكن أن يفقد بسرعة خلال أى تسرب فى الوعاء أو الحاوية المستخدم فيه. أقصى ضغط بخار (Vapour Pressure) لمثبطات المجال المتطاير عندئذ يجب أن يكون كافياً فقط بما يكفى استمرار تركيز المثبط على كل أسطح المعدن المعرضة.

ضغط البخار والخواص الأخرى لمثبطات المجال المتطاير موضع فى الجدول التالى:

خواص ضغط البخار لمثبطات المجال المتطاير :

المركب	ضغط البخار مليمتر زئبق عند 25م	ملاحظات
	0.0002	يحمى الصلب، الألومنيوم، الطلاء بالقصدير، يزيد تآكل الزنك، المغناسيوم ، النحاس، يغير لون بعض مواد البلاستيك
	0.4	يحمى الصلب، الألومنيوم، اللحامات، القصدير، الزنك. يزيد تآكل النحاس، النحاس الأصفر والمغنسيوم

يلاحظ أن ضغط البخار للمركب الثاني فى الجدول 2000 ضعف المركب الأول أو أكثر بما يجعله اختيار مفضل للحاويات التى تفتح من آن إلى آخر ذلك بسبب أنها ستعيد تشبع المساحة المتاحة للبخار بسرعة. ولكن المركب الأول فى الجدول مفيد فى حالة الحاويات التى تكون مفتوحة مرة واحدة والتى يمكن أن تخزن لفترة زمنية طويلة. كمية مثبطات المجال المتطاير المطلوبة تتوقف على الحالات ولكن رطل واحد لكل 500 قدم مسطح من السطح اقترح للمركب الأول وواحد رطل لكل قدم مكعب من المساحة الفراغية للمركب الثانى. مثبطات مجال التطاير عدوانية على المعادن الغير حديدية لدرجات مختلفة، لذلك فإنه يقترح أن مستخدمى الجهد يقوموا باختيار عدة أنواع من تلك المثبطات لكل استخدام معين.

الاستخدام التطبيقى للمثبطات

مصطلحات التركيز والكفاءة :

مثبطات التآكل تباع فى الشكل الصلب أو السائل. معظم الشكل الصلب يكون نقى نسبياً ولكن أحياناً يتم صهر المثبط الصلب مع مكون آخر أو أن يتعلق حيث يكون المطلوب التحكم فى معدل الإذابة. المثبطات السائلة عادة مفضلة لسهولة نقلها وقياسها وانتشارها. المثبطات السائلة نادراً ما تكون نقية لعدة أسباب. المثبطات العضوية نادراً ما يكون لها خواص قصوى لنقطة اللزوجة، التجمد والغليان، لذلك فإنها تذاب فى كمية مناسبة من المذيب للحصول على الخواص المطلوبة . عادة يتم خلط المثبط مع عامل مفكك الاستحلاب (Demulsifier) ، أو انتشار، أو منشط سطحى (Surfacrant) ، مانع للرغاوى (Anti foaming) أو عامل متعاون. المثبطات السائلة تباع بالجالون ، حيث جزء منها يكون مذيب كمية المثبط الموجودة يعبر عنها بنسبة النشاط (Percent Active) أى أن جالون من المثبط الذى يكون بنسبة نشاط 20% فإنه يحتوى على 20% بالوزن من المثبط.

عادة يتم مقارنة مثبطات التآكل على أساس كفاءة تثبيطها والتى هى نسبة انخفاض التآكل فى وجودها مقارنة بمعدل التآكل الذى يحدث فى حالة عدم وجودها. كفاءة المثبط تحسب من المعادلة التالية :

حيث : E = كفاءة المثبط.

Ro = معدل التآكل فى عدم وجود المثبط.

Ri = معدل التآكل فى وجود المثبط.

يعبر عن تركيزات المثبطات بالجزء فى المليون. بالنسبة للمثبطات الصلبة فإن الوحدات هى على أساس الوزن مثال رطل من المثبط لكل مليون رطل من السائل. بالنسبة للمثبطات السائلة تستخدم الأحجام مثال جالونات من المثبط لكل مليون جالون من السائل. للحصول على كمية المثبط المطلوبة لنظام معين يتم قسمه كمية السائل المطلوب تثبيطه على مليون ثم يتم الضرب فى الجزء فى المليون المطلوب.

حيث : Q = كمية المثبط المطلوبة.

V = كمية السائل المطلوب تثبيطه.

ppm = تركيز المثبط جزء فى المليون.

الحقن المستمر : (Continous Injection) "

الحق المستمر لمثبطات التآكل يتم فى النظم الإمرار الواحد Once Through (Systems) حيث المعالجة دفعة واحدة أو على دفعات لا يمكنها التوزيع المنتظم خلال السائل. تستخدم هذه الطريقة فى إمدادات المياه، حقن مياه آبار البترول، مياه التبريد ذات التمرير الواحد، آبار البترول أو الغاز ذات الفراغ الحلقى المفتوح (Annulus) وآبار رفع الغاز. يتم ضبخ المثبطات السائلة باستخدام طلمبة حقن الكيماويات. هذه الطلمبات يعتمد عليها إلى حد كبير وتحتاج إلى صيانة قليلة. معظم طلمبات حقن الكيماويات يمكن ضبطها بضخ المعدل المطلوب.

شكل آخر من الاستخدام المستمر وهو باستخدام مثبطات صلبة ذات الإذابة القليلة. هذا المثبط (مثل الفوسفات الزجاجى أو السيليكات، فى شكل خرطوشة) يوضع فى خط التدفق حيث يتم باستمرار إذابة المثبط من خلال مرور السائل خلال الخرطوشة. المثبطات فى شكل أقراص أو أعمدة تستخدم فى آبار الزيت والغاز للإمداد المستمر بالمثبط بإذابتها البطيئة الطبيعية.

المعالجة ذات الدفعة الواحدة : (Batch Treatment) :

المثال المألوف للمعالجة ذات الدفعة الواحدة هو نظام التبريد للمركبة (الراديـــاتير). حيث تضاف كمية من المثبط مرة واحدة لتوفير الحماية لمدة طويلة. يمكن إضافة مثــبط إضافى من آن إلى آخر أو أن السائل يمكن صرفه واستبداله بجديد . فـــى معظــم نظــم التبريد ذات الدائرة المقفلة يكون من المهم أن يتم قياس تركيز المثبط من آن إلـــى آخــر لضمان استمرار المستوى الآمن.

المعالجة دفعة واحدة تستخدم كذلك فى معالجة آبار الزيت والغاز يتم تخفيف المثــبط بكمية مناسبة من المذيب وحقنها فى الفراغ الحلقى للبئر المفتوح أو فى مواسير آبار الغاز التى لها حشوة مانعة للتسرب (Packer). فى هذه الاستخدامات يكون من المهم أن يلتصق المثبط بكل الأسطح وأن له ثبات جيد. معظم الآبار تتطلب المعالجة علـــى دفعـــات كـــل حوالى أسبوعين.

معالجة الكبس (Squeeze Treatment) :

معالجة الضغط أو الكبس هو طريقة للتغذية المستمرة بالمثبط فى بئر زيت البترول. يتم ضخ كمية من المثبط فى البئر ثم يليها مذيب كافى لدفع المثبط فى تكوينات التربـــة. المثبط يتم ادمصاصه بالتكوينات والتى تتسرب منها ببطئ لتثبيط السائل المنتج. الحمايـــة المستخدمة بهذه الطريقة عرف أنها تستمر لعدة سنين.

التطاير : (Volatilization) :

تم مناقشة التطاير بالعلاقة مع الغلايات والأوانى المغلقة باستخدام آخر هو اســتخدام التثبيط لتآكل الغاز المكثف . ولكن المعالجة هنا هى نفسها المستخدمة فى معالجة الدفعـــة الواحدة أو الكبس.

التغطيات Coatings :

تستخدم المثبطات فى التغطيات المعرضة للهواء الجوى. عنـــد التصـــاق الرطوبـــة بالطلاء، فإنه يتم غسيل بعض المثبط من الطلاء لحماية المعدن . لذلك فإن التثبط يجب أن يكون مذاباً بما يكفى غسيله بكميات كافية لحماية المعدن ولكن لا يكون شـــديد الـــذوبان

بحيث يحدث له الفقد السريع. من بين مثبطات الطلاء المعروفة هو كرومات الزنك (Zinc Chromate) والرصاص الأحمر (Plumbous Or Thophospate) الذى يوفر المناعة للصلب بتوفير آيونات الكرومات والرصاص بالتتالى. هذه المثبطات ليست مؤثرة لعدوانية مياه البحر أو المياه عالية الملوحة ذلك لأن المحتوى العالى من الكلور يمنع حدوث المناعة للصلب.

من بين الحديث نسبياً الطلاءات الغنية بالزنك حيث تكون فيها جسيمات الزنك الدقيقة (تشبه طلاء الألومنيوم) والتى توفر الحماية الكاثودية إلى معدن الأساس بدرجة مؤثرة.

المشاكل المصاحبة لاستخدامات المثبطات :

يجب اختبار النظام بحرص قبل تخطيط برنامج تثبيط التآكل الاختبار يجب أن يشمل استطلاع أى تأثيرات ضارة قد يحدثها المثبط على العملية التى يستخدم فيها والتحليل للكشف عن وجود مواد متداخلة.

التأثيرات الضارة المحتملة التى قد تسببها المثبطات العضوية يرجع إلى طبيعتها القطبية (Polar Nature). متطلبات وجود مجموعات دالة فى المثبط والتى يتم ادمصاصها بقوة ، إلا أن ذلك يوفر لها درجة ما من خواص النشاط السطحى لذلك فإنها يمكن أن تسلك مثل الصابون أو مثل المنظفات مسببة رغاوى ومكونة مستحلبات ، أو قد تسبب ضعف لتماسك الترسيبات المتكونة (Scales) قبل بدء التثبيط ولا توجد طريقة معينة للمعرفة المسبقة ما إذا كان المثبط سيسبب أى من المشاكل السابقة.

الرغاوى : Foaming :

الأداء المناسب لتجنب المشاكل الناتجة عن حدوث الرغاوى هى بتعيين أين تحدث حالات الرغاوى فى النظام، هذه سوف تتكون فى الأماكن حيث يتم تقليب السائل المحتوى على المثبط مع غاز كما فى حالة جهاز فصل الغاز (Gas Separator) ، أو فى التجريد بالتيار المعاكس (Counter Current Stripping) أو فى أجهزة التهوية (Aerator). الخطوة التالية هى الحصول على عينة من السائل والغاز من مرحلة من العملية. يضاف المثبط . يتم ضبط درجة الحرارة التى تقابل تلك فى مرحلة العملية ثم يتم

التقليب العنيف. إذا حدث وجود رغاوى فى هذه المرحلة فإن ذلك يعنى وجـود مشـكلة حادة.

توجد ثلاث بدائل للعلاج ، أولها يمكن إضافة عامل مضاد لحدوث الرغاوى (والذى يجب اختباره كذلك) ، ثانياً يجب عمل الاختبارات لاختبار المثبط الذى لا يسبب الرغاوى وثالثاً يمكن إيقاف العملية من آن إلى آخر والمعالجة بمثبط مرحلى أو مستمر. الطريقتين الأخيرتين هما الأقل استساغة.

المستحلبات : Emulsios :

المستحلبات مثل الرغاوى فى أنها تكون مجال واحد منتشر فى الآخر. المسـتحلبات تتكون من مجالين لسائلين لا يذوبا فى بعضهما. بينما الرغاوى تتكون من مجـال سـائل وغاز. الظروف المساعدة على تكون المستحلب هى وجود مجالين من السائل ، التقليب ، ومثبت المستحلب (Emulsion stabilizer) فى هذه الحالة، فإن مثبط التآكل يمكن أن يعمل كمثبت للمستحلب. لذلك فإن الطريقة هى مزج مجالين السائلين مع المثبط وقياس الوقـت اللازم لهما للانفصال . إذا كان الوقت اللازم للانفصال أطول فى وجود مثبط التآكل عنه فى حالة عدم وجوده. فإن العلاج هو نفسه كما فى حالـة الرغـاوى . أضـف مضـاد للاستحلاب، استخدم مثبط آخر أو يتم التثبيط على مراحل أثناء التوقف.

إيجاد مشاكل تآكل جديدة :

تأثير ضار آخر محتمل بفعل التثبيط هو زيادة معدل التآكل للمعدن فى حالة استخدام المثبط. فمثلاً ، بعض مركبات الأمينات (Amines) تحمى الصلب ولكنها تحدث تآكل حاد فى النحاس والنحاس الأصفر. النيتريت (Nitrites) قد تحدث تآكل للرصـاص وسـبائك الرصاص للحام (Solders) . فى بعض الحالات قد يتفاعل المثبط فى العملية مسبباً نواتج ضارة. ومثال لذلك هو اختزال مثبطات النترال لتكوين الأمونيا التـى تسـبب التشـقق بالإجهاد والتآكل للنحاس والنحاس الأصفر. الطريقة الوحيدة لتجنب هذه المشـاكل هـى بمعرفة المكونات المعدنية للنظام والمعرفة والتأقلم مع خواص المثبط المستخدم.

الانتقال الحرارى (Heat Transfer) :

الانتقال الحرارى عامل هام عند استخدام المثبطات. يجب تجنب حدوث الترسـيبات (Scaling) على أسطح الانتقال الحرارى ، أو حدوثها عند أدنى حده الترسيبات التراكمية من الفوسفات، السيليكات الكبريتات يتم تجنبها، خاصة الأخير ذلك لأنه يصعب إزالتهـا بالطرق الكيماوية.

التأثيرات السامة : (Toxic Effects) :

يجب أن يؤخذ فى الاعتبار التأثيرات السامة للمثبطات فى العمليـات حيـث يمكـن استنشاق المركبات أو دخولها إلى المعدة. يجب الحرص الزائد نحـو تجنـب اسـتخدام المثبطات السامة فى أو قرب عمليات التصنيع الغذائى كما فى حالة مصانع الثلوج وفـى إمدادات مياه الشرب.

فقد المثبط :

أحياناً يكون السبب فى عدم تأثير المثبط هو فقده قبل التصاقه بأسـطح المعـدن أو إحداث التغيرات المطلوبة فى المجال. المثبط يمكن أن يفقد بالترسـيب، الادمصـاص أو التفاعل مع مكونات النظام، أو أن يكون غير مذاب بدرجة كافية أو شـديد البطـئ فـى الإذابة.

نماذج لفقد المثبط لهذه الأسباب هو ترسيب أملاح الفوسفات بأيون الكالسيو وتفاعـل الكرومات (Chromates) مع السلفيدات (Suplphides)، إدمصاص المثبطات على المواد الصلبة العالقة وحقن مثبط بطئ الذوبان بدون عامل تشتت مناسب (Dispersing Agent). لتجنب هذه المشاكل يجب اختبار المثبطات فى السائل الحقيقى المطلوب معالجتـه فـى بيئـة محاكاة. كلما أمكن ذلك يتم الاختبـار فـى تـدفقات العمليـة أو فـى تـدفق جـانبى صـغير (Small Side Stream).

الموجـــــز :

مثبطات التآكل العضوية والغير عضوية لمختلف الـنظم موضـحة فـى الجـدول (4/5) ولكن مهندس التآكل يجب أن يقوم بعمل الاختبارات لأى عمليـة لتأكيـد نجـاح

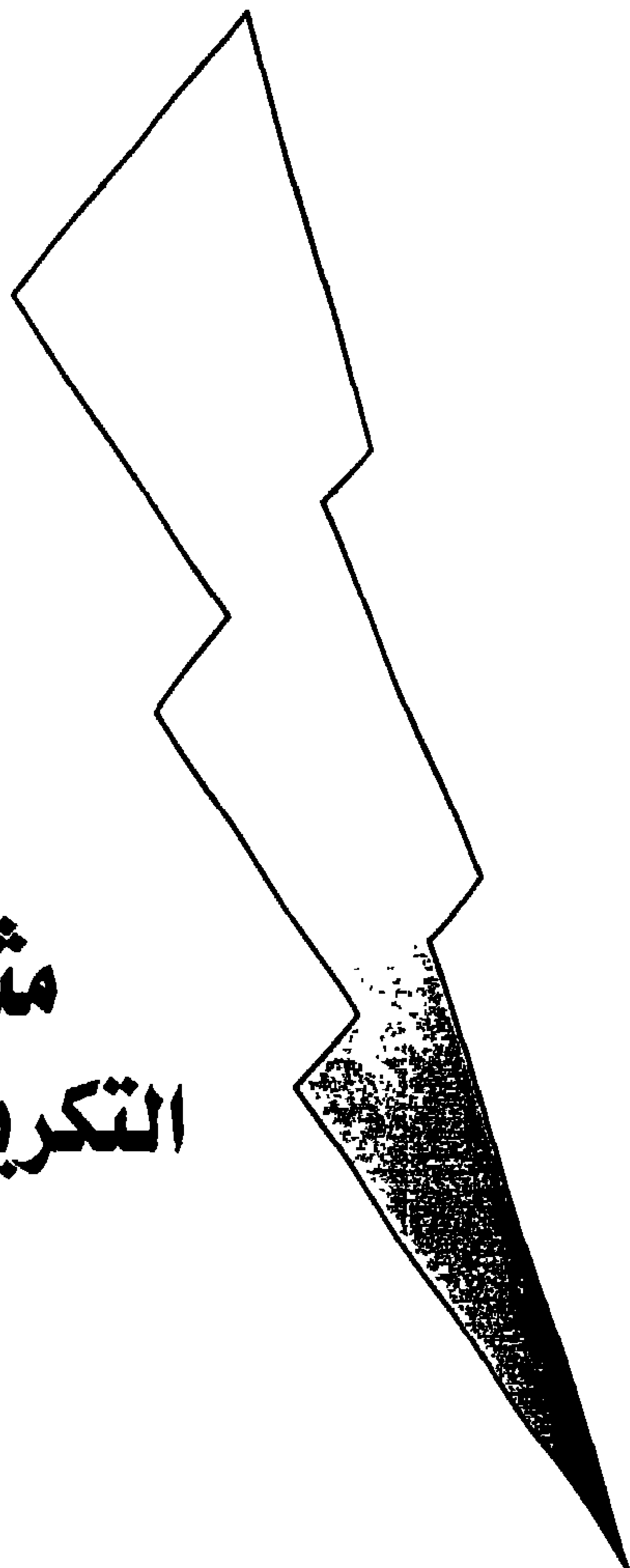
استخدام المثبط. الغرض من الجدول (4/5) هو للمساعدة فى اختيـار المثـبط المناسـب والذى ثبت نجاحه فى عمليات سابقة ولكن يوجد آلاف من مثبطات التآكـل التـى ثبـت نجاحها فى بعض المجالات العدوانية. من بين كل مثبطات التآكل المعروفة فإن قليلاً منها الذى يحقق متطلبات التكلفة، عدم السمية، الإذابة، والثبات، التوافق.

جدول (4/5) بعض النظم والمثبطات التي استخدمت لحمايتها

النظام	المثبط	المادة المحمية	التركيز
مياه الشرب	$Ca(HCO3)_2$	صلب/ زهر	10 جزء فى المليون
	Polyphosphates	حديد/ زنك/نحاس/ ألومنيوم	5-10 جزء فى المليون
	$Ca(OH)_2$	حديد/زنك/ نحاس	حتى رقم هيدروجينى (8)
	Na_2SiO_3	صلب/ زهر/ حديد حديد / زنك / نحاس	10-20 جزء فى المليون
تبريد المياه	Na_2CrO_4	حديد/ زنك/ نحاس	0.01 %
	$NaNO_2$	حديد	0.05 %
	NaH_2PO_4	حديد	%1
	$Ca(OH_3)_2$/حديد/زهر/ صلب10 جزء فى المليون	حديد	0.2 %
الغلايات	Na H2 PO4	حديد/زنك/ نحاس	10 جزء فى المليون
	Polyphosphates	حديد/زنك/ نحاس	10 جزء فى المليون
	Morpholine	حديد	متغير
	Hydrazine	حديد	لإزالة الأكسجين
	Ammonia	حديد	معادل
	Octadecy Lamine	حديد	متغير
المياه المالحة Brines	$Ca(HCO)_2$	حديد/ نحاس/ زنك	10 جز من المليون

النظام	المثبط	المادة المحمية	التركيز
	$Na_2\,CrO_4$	حديد/نحاس/ زنك	%0.01
	Soblom Benzoate	حديد	%0.05
	$Na\,NO_2$	حديد	%5 – Nail
المياه المالحة لآبار البترول	Na_2Sio_3	حديد	%0.01
	Na_2SO_3 (or SO_2)	حديد	اختزال الأكسجين
	Imidazoline	حديد	10-25 جزء فى المليون
	Formeldhyde	حديد	50-100 جزء فى المليون
	Rosin Amine Acetate	حديد	5-25 جزء فى المليون
مياه البحر	$Na_2\,SiO_3$	زنك	10 جزء فى المليون
	$NaNO_2$	حديد	% 0.05
	$Ca(HCO_3)_2$	ألومنيوم	يتوقف على الرقم الهيدروجينى
	$NaH_2PO_4 + NaNO_2$	حديد	10 جزء فى المليون + % 0.05
مبرد المحرك	Na2 CrO4	حديد/ رصاص/ نحاس/ زنك	%1 - 0.01
	Na NO2	حديد	%1 - 0.1
	Borax	حديد	%1
أحماض Hcl	Ethylaniline	حديد	% 0.5
	Mercatobenzothiazole	حديد	%1
	Pyridine + Phenyl hydrazine	حديد	%0.5 + % 0.5

النظام	المثبط	المادة المحمية	التركيز
	Rosin Amine + Ethylene Oxide	حديد	%2
H_2SO_4	Phenylacridine	حديد	%0.05
Con H_3 PO_4 معظم الأحماض	NaI	حديد	200 جزء فى المليون
	Thiourea	حديد	%1
	Sulfonated Caster Oil	حديد	%1 - 0.5
	As_2 O_3	حديد	% 0.5
	Na_3 As O_4	حديد	%0.5
تكثيف البخار	Morpholine	حديد	متغير
	Ammonia	حديد	متغير
	Ethylenediamine	حديد	متغير
	Cyclohexylamine	حديد	متغير
الجو المغلق Enclosed Atmosphere	Cyclohexylamine Carbonate	حديد	1 رطل لكل 500 قدم مكعب
	Dichlorohexylamine Nitrita	حديد	1 رطل لكل 500 قدم مكعب
	Amyl Amine Benzoate	حديد	متغير
	Diizopropyl amine Nitrile	حديد	متغير
	Methycyclohexy lamine carbonate	حديد	متغير
مثبطات طبقة التغطية Coating Inhibitors	Zn CrO4 (yellow))	حديد/زنك/نحاس	متغير
	CarO4 (White	حديد/زنك/نحاس	متغير
	Red Lead	حديد	متغير



الفصل الخامس

مثبطات التآكل فى معامل التكرير والصناعات البتروكيميائية

مقدمـــــــة :

مثبطات التآكل فى معامل تكرير البترول وفى الصناعات البتروكيمائية

Corrosion Inhibitors In Refineries and Petro-Chemical Plants

التآكل فى عمليات التصنيع للمواد الهيدروكربونية يمكن أن يقسم تجاوزاً إلى نـــوعين وهما الرطب والجاف. التآكل الرطب هو الذى يحدث فى وجود الماء السائل. التآكل فـــى عدم وجود الماء يعتبر تآكل جاف. التآكل الرطب طبيعى أن يكون فـــى درجـــة حـــرارة منخفضة أى أقل من درجة الغليان أو نقطة الندى (Dew Point) للماء. درجـــة الحـــرارة هذه ستكون طبيعياً دلالة لضغط النظام وكذلك مكوناته. عمليات التآكل الرطب محدود عند حوالى 5232م كأكبر درجة حرارة. درجة الحرارة الأقل تتحدد طبقاً لمكونـــات الســـائل. لحدوث التآكل الرطب عند أى درجة حرارة يجب أن يوجد أما مجال مائى أو ماء كـــافى مذاب فى مجال سائل لتوفير التوصيل الكهربـــى أو الخـــواص الأيونيـــة لســـائل مثـــل الهيدروكربون (Hydrocarbon) والذى ليس له هذه الخواص فى عدم وجود الماء. التآكل الرطب عبارة عن عملية كهروكيميائية. التآكل الرطب يمكن مقاومته بـــأنواع المثبطـــات المســـببة للمناعـــة (Passivating) ، أو التعـــادل (Neutralizing) أو الادمصـــــاص (Adsorbtion).

التآكل الجاف له أهمية كبيرة فى عدد من عمليات التكرير. وهـــو يشـــمل عدوانيـــة كبريتيد الهيدروجين ومركبات الكبريت الأخرى على الصلب ومختلـــف الســـبائك عنـــد درجات الحرارة المرتفعة. مثال آخر هام للتآكل الجاف فى عمليات التكريـــر والعمليـــات البتروكيميائية تشمل العدوانية فى أجواء درجات الحرارى العالية للاحتراق على المواسير المعدنية الحاملة للخامات والمنتجات فى أفران التكسير (Cracking).

مثال آخر وهو عدوانية الهيدروجين عند درجة الحرارة المرتفعة والضغط المرتفـــع وذلك فى عمليات الهدرجة Hydrogenation أو فى عملية التهذيب الكيماوى لرفع الـــرقم الأوكتينى للبنزين (Reforming) وكذلك عند إنتاج الغازات المخلقة بالأكســـدة الجزئيـــة للهيدروكربونات. نظراً لأن هذه المشاكل شديدة الخطورة وحلها مكلف جداً، فـــإن الحـــل يتوقف على عوامل تصميمية وميتاليرجية.

طبيعية السوائل العدوانية :

مثال لذلك المبادل الحرارى حيث تتكثف أبخرة النافتا فى الجدار أو الغلاف بواسطة مياه التبريد فى المواسير حيث يمكن حدوث التآكل فى كل من الجدار والمواسير. وبالمثل فإن معامل التكرير ومصانع المنتجات البتروكيماوية تنتج عادة كمياه ضخمة من البخار لكل من إنتاج الطاقة والاحتياجات الأخرى. سيتم مناقشة لتدفقات المجال المائى، مجال الغير المائى، (مجال الهيدروكربون) المجال الغازى.

المجال الغازى Gasphase :

يتكون المجال الغازى من الهيدروكربونات الغازية بعمليات التقطير أو بعملية التكسير أو تحلل آخر للسوائل. مركبات الكبريت مثل كبريتيد الهيدروجين أو المركبتان (Mercaptans) أى الكحكول الكبريتى الموجود عادة فى المجال الغازى قد تكون من مكونات تدفقات التغذية لوحدة المعالجة، مثال؛ تقطير الخام، حيث يمكن أن تتكون بالتحلل الحرارى المركبات (Thiophenes , Disulphides) .. الخ أو أن تكون نتيجة عمليات الهدرجة المختلفة مثل التكسير الهيدروجينى (Hydrocracking) ، الهدرجة لإزالة الكبريت (Hydrodesulfurizing).. الخ. بالمثل فإن مركبات النيتروجين يمكن أن توجد فى الخام أو أن تكون نتيجة التحلل الحرارى أو الهدرجة للمركبات النيتروجينية إلى الأمونيا و/أو حامض الهيدروسيانيك. توجد مركبات الأكسجين مثل الأحماض الدهنية أو الأحماض النفيثنية (Naphthenic Acids) الذى يحدث فى بعض الخامات. يتكون كلاً من أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون أثناء تفاعلات الإصلاح أو إعاد التشكيل المختلفة (Reforming) بالإضافة إلى الناتج من الاحتراق و/أو تبخير العوامل الوسيطة بالبخار (Steaming of- Catalysts) . الأكسجين الحر يمكن أن يكون موجوداً بسبب تسرب الهواء وتحديداً فى المعدات عند الضغط المتوسط عند استخدام مضخات الطرد المركزى. يحدث التسرب الهوائى كذلك عند تخزين البخار المنتج عند الضغط الجوى قبل الاستخدام النهائى.

مجال الهيدروكربون السائل :

هذا المجال يكون فى حالة اتزان حركى (Dynamic Equilibrium) تحت ظروف درجة الحرارة والضغط .. الخ. مع المجال الغازى الذى تم وصفه وكذلك المجال المائى الملتصق به. فى هذا الترابط ، يلاحظ أن إذابة سلفيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون فى الهيدروكربونات هو أعلا مقارنة بذلك للأكسجين والنيتروجين. زيادة على ذلك ، فإن كبريتيد الهيدروجين عموماً له إذابة أعلا فى الهيدروكربونات عن الماء ، بينما العكس صحيح للأكسجين، ثانى أكسيد الكربون والأمونيا .. الخ.

المجال السائل المائى : (Liquid Aqueous Phase) :

بسبب تقدم تفاعلات التآكل الكهروكيميائى فى المجال المائى فقط، فإن التركيب الكيماوى والخواص طبقاً للتركيب الكيماوى لهذا المجال له أهمية خاصة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. هذا المجال هو مائى بدرجة كبيرة. تدخل المياه فى وحدات عمليات التكرير المختلفة بطرق متعددة. من المهم هو الماء الذى يحتجز و/أو يستحلب فى شحنة الزيت الخام للتكرير أى المغذى لعمليات التقطير. هذا الماء ينتج مع الزيت الخام ويظل معه بالرغم من أجهزة الفصل فى حقول البترول، مصايد السائل فى خطوط الأنابيب .. الخ. رغم أن كمية المياه عادة صغيرة فى الحجم الكلى، إلا أن تأثيرها على التآكل يمكن أن يكون كبيراً، ذلك لأنها تحتوى عادة على نسبة عالية من الأملاح المذابة العدوانية، أساساً الكلوريدات للصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم.

المصدر الآخر للماء هو من خلال حقن الماء أو البخار للمساعدة فى التقطير البخارى (Steam Distillation) لمختلف مشتقات البترول. تكثيف الأبخرة المتصاعدة لكل من بخار الماء والهيدروكربون ينتج عنه فصل طبقة الماء من الهيدروكربون المنتج . هذه الطبقة من المحتمل إعادة استخدامها فى التكرير. المجال المائى المكثف يحتوى على عدوانيات مختلفة والتى تحدث تآكل فى معدات التقطير والتكثيف.

المصدر الثالث الهام الآخر للماء هو مياه الغسيل أو المحلول المائى الملتصق بمختلف تدفقات المواد الوسيطة والمنتجات فى عمليات التكرير وتصنيع البتروكيماويات. وهذا

يشمل استخدام مختلف عمليات الاستخلاص (Extraction) مثل الفيرفورال (Furfural) فى إنتاج مواد التزليج ، الايثانوال أمين (Ethanolamines) فى تنقية الغاز .. الخ. كل يستخدم المجال المائى للمواد المستخلصة.

المجال المائى يكون دائماً فى اتزان حركى (Dynamic Equilibrium) مع السوائل الأخرى الملتصقة. نظراً لطبيعته كمذيب عالمى فإن المجال المائى عادة يحتوى على نوعيات كثيرة من السوائل المذابة، الغازات ، المواد الصلبة العضوية والغير عضوية. المواد المذابة فى الماء هى التى تحدد عدوانيتها على معدة التصنيع. غالباً ما تكون أهم صفة للمجال المائى من وجهة نظر التآكل هى الرقم الهيدروجينى (pH – Value) مع بعض الاستثناءات معظم التآكل الصناعى فى وحدات تكرير البترول وخلافة يكون تآكل بفعل الحامض ، أى العدوانية عند رقم هيدروجينى منخفض على المعادن النشطة مثل الحديد ، النحاس ، الزنك ، الألومنيوم وسبائكهم. صلب التسليح العادى يمكن اعتبار أن له نفس خواص مقاومة التآكل مثل الحديد فى المجال الحامضى.

تآكل الصلب :

الصلب غير مستقر فى الأحماض بدرجة كبيرة، كما يتوقع من وضع الحديد فى تسلسل الجهد للمعادن. فى عدم وجود مثبطات يزداد معدل التآكل بشدة عند انخفاض الرقم الهيدروجينى لأقل من (7). عند رفع هيدروجينى أعلا من (7) فإن الصلب يكون مستقراً مع زيادة الرقم الهيدروجينى، حتى قيمة (13) وعند رقم هيدروجينى أعلا وبالتحديد عند أرتفاع درجة الحرارة يحدث التآكل بسبب ضعف خاصية الأمفويترية للحديد (Amphoteric) وهى خاصية ثنائية الشحنة أو حامضى قلوى.

من وجهة النظر العملية معادلة المحاليل الحامضية إلى رقم هيدروجينى 6 – 8 يكون مناسب لخنق العدوان المباشر على الصلب. ولكن عند تدعيم التعادل بالمثبطات فإنه يمكن تحقيق الحماية من التآكل عند رقم هيدروجينى ما بين 5 إلى 6. (نعنى بهذا النظم ذات المحتوى المنخفض أو الخالية من الأكسجين وهذه هى عادة ظروف عمليات تكرير البترول).

تحدث الحموضة فى سوائل التكرير بإذابة الغازات الحامضية فى المجال المائى مثل كبريتيد الهيدروجين، حامض الهيدروسيانيك، وثانى أكسيد الكربون بواسطة الأحماض العضوية الدهنية والأحماض المعدنية وأحماض النافتا (Naphthenic Acids). والأساسى من بين الأحماض المعدنية حامض الهيدروكلوريك والذى يتكون فى عمليات التكرير بالتحلل الحرارى (Thermal Decomposition and Hydrolysis) لكلوريدات المغنسيوم والكالسيوم التى لا تزال فى عمليات إزالة الأملاح (Desalting). وقد يظهر كذلك كمكون أو كمنتج ثانوى فى مختلف العمليات البتروكيماوية للكلورة والألكلهِ (Alkylation) (وهى عملية استبدال شق هيدروكربونى اليفانى بالهيدروجين فى تركيب عضوى). عموماً تزداد عدوانية الحامض بزيادة كمية الأحماض الكلية المذابة أو بخفض الرقم الهيدروجينى. ولكن هناك استثناء وهو أن الأحماض الضعيفة مثل حامض الهيدروسيانيك وسلفيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون أشد عدوانية بالنسبة للصلب عن تأثير انخفاض الرقم الهيدروجينى كذلك توجد استثناءات هامة مثل التكسير الهيدروجينى (Hydrocracking) وفى وحدات الإيثانول أمين (Ethanolamine) حيث يمكن أن يتآكل الصلب عند رقم هيدروجينى مرتفع. فى هذه الحالات فإن طبقة الحماية الطبيعية من كبريتيد الحديد والأكسيد يتم تدميرها بتكوين مركب معقد من الحديد مع مركبات النيتروجين مثل السياندات التى تكونت عند هدرجة الزيت الخام أو بتحلل وتكسر منتجات الإيثانول أمين (Ethanolamines).

تآكل سبائك النحاس :

بعد الصلب فإن المعدن ذو الأهمية فى التكرير عند درجة الحرارة المنخفضة (أى أقل من درجة حرارة الفرن) هو النحاس ، عادة يكون فى شكل سبائك مثل (Admiralty)، المونيل (Monel) بالإضافة إلى النحاس عالى التوصيل الحرارى وسبائكه والتى تعتبر متفوقة عن الصلب فى مقاومة التآكل فى المجالات مثل الأحماض المخففة، المياه المالحة والخمضاء (Brakish) وفى وجود مركبات الكبريت. نظراً لأن النحاس وسبائكه له قوة أقل واستعمال أكثر وأسعاره أعلا عن الصلب الكربونى، فإن استبدال الصلب بسبائك النحاس يجب أن يكون بسبب المحافظة على المادة و/أو تحسين العملية الصناعية

رغم أن النحاس عموماً أكثر مقاومة لتدفقات أحماض التكرير عن الصلب ، إلا أن تأثير الرقم الهيدروجينى على تآكل النحاس أكثر منه بالنسبة للصلب. من الضرورى المحافظة على ضبط الرقم الهيدروجينى مقارباً بسبب إذابة النحاس وسبائكه عند رقم هيدروجينى مرتفع تحت بعض الظروف. عند الرقم الهيدروجينى المنخفض فإن العامل الآخر مثل وجود الأكسجين وسرعة السائل له أهمية بالنسبة لتآكل النحاس. عند رقم هيدروجينى مرتفع فى وجود الأمونيا وبعض الأمينات (Amines) تتكون مركبات النحاس المعقدة المذابة والتى تؤثر على إذابة النحاس. يلزم الاحتياطات الخاصة كما تم شرحه.

مثبطات التآكل للتعادل : (Neutralizing Corrosion Inhibitors)

نظراً لأن التآكل يعرف بأنه نتيجة عدوانية الحامض على المعادن، لذلك فإن إزالة أو معادلة الأحماض يعتبر حل واضح لمشكلة التآكل. نظرياً أى مادة قلوية لمعادلة الحامض ورفع الرقم الهيدروجينى ستكون كافيه ، ولكن عملياً فإن الموقف معقد لأسباب أخرى. وهذا واضح فى حالة جهاز إزالة الأملاح (Desalter) والذى هو عادة وحدة المعالجة الأولى فى عملية التكرير. ومهمته هى خفض المحتوى من رواسب القاع والماء من شحنة الزيت الخام قبل دفعها إلى وحدة التقطير. كما سبق توضيحه الماء (عادة الماء المالح) يسبب التآكل فى الوحدات تحت التيار لوحدة إزالة الأملاح نتيجة تحلل (Decomposition) الكلوريدات إلى حامض الهيدروكلوريك عند درجة حرارة المعالجة العالية. إضافة القلوى إلى مزيل الأملاح لخفض التحلل لكلوريد الكالسيوم والمغنسيوم يحقق خفض المنتج من حامض الهيدروكلوريك وبالتالى ينتج عن ذلك (أن يكون حامض الهيدروكلوريك المتكون أقل فى مقطر الخام العلوى ... الخ.

القلويات المعادلة (Neutralizers) ذات التكلفة المنخفضة مثل كربونات الكالسيوم الصودا آش ، عادة تسبب مشاكل الترسيب القشرى (Scaling) بسبب ترسيب الإيدروكسيدات الغير مذابة و/أو الكربونات للمغنسيوم والكالسيوم بالتفاعل مع تلك الأيونات فى الماء المحجوز بواسطة جهاز إزالة الأملاح. ولكن استخدام ايدروكسيد الصوديوم الغير مسبب لحدوث تلك الترسيبات مازال يستخدم حتى الآن فى . عمليات

إزالة الملوحة، لذلك فإنه يضاف بكميات تقارب المحتوى من الكلوريد فى مياه مزيل الأملاح.

بعض المصانع حالياً تحاول استغلال القلوية العالية فى مياه صرف الغلايات (Boiler Blow Down) لتغذية وجدة إزالة الملوحة. والبعض الآخر يستخدم المياه الخارجة وعالية الرقم الهيدروجينى من أجهزة تجريد (Stripper) المياه الحامضية بفعل وجود كبريتيد الهيدروجين. ولكن خطورة هذا العمل تشمل مشاكل تكون قشور الترسيبات من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم عند رقم هيدروجينى مرتفع وحدوث الرغاوى عند القلوية العالية و/أو وجود مواد النشاط السطحى. هذه الرغاوى (الزيت) بسبب السحب المتقطع لمياه رديئة من جهاز إزالة الملوحة.

الوحدة الأولى فى مجال التكرير التى تلى جهاز إزالة الملوحة هى تقطير الخام (Crudestill) والذى يحدث فصل تقريبى طبقاً لمجال الغليان لمختلف تدفقات التقطير مثل النافتا، الكيروسين، زيت الديزل.. الخ. الأبخرة المكثفة يتم تكثيفها عند نقطة واحدة أو أكثر وتؤخذ المنتجات طبقاً لنسب الرجوع المطلوبة(Desired Reflux Ratio) .. الخ. السوائل المكثفة قد تحتوى على مكونات الأحماض المذابة مثل حامض الهيدروكلوريك كبريتيد الهيدروجين وتكون عدوانية على المعادن الملتصقة بالسوائل.

يمكن توقع حدوث التآكل بمجرد الوصول إلى نقطة الندى للماء، لذلك فإن كيماويات المعالجة يجب أن تضاف فوق التيار لنقط التكثيف الأولى. رغم استخدام مختلف مواد التعادل سابقاً ولكن الاتجاه الحديث للتدفقات العليا أصبح محدوداً بالأمونيا وبعض الأمينات ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل (Morpholine) أو (Cyclohexylamine) والتى تضاف إما كسوائل غير مخففة أو كأبخرة أو كمحاليل مائية.

الأمونيا هى المادية الأكثر استخداماً بسبب قوة تعادلها العالية، انخفاض تكلفتها، وسهولة وملاءمة تداولها. الأمونيا يمكن حقنها كسائل تحت ضغط الأسطوانة وانتشارها فى المجال الغازى المقطر الخام. عند تكثيف الأبخرة فإن الأمونيا تذوب فى المياه المكثفة بما يسبب زيادة فى رقمها الهيدروجينى مع تكثف مياه إضافية أسفل التيار للنقطة

الأولى ، فإنه سوف يحدث حالة إتـزان (In Equilibrium) مـع غـاز الأمونيـا فـى الهيدروكربون المكثف وأبخرة الماء.

رغم المزايا التى تم ذكرها، إلا أن استخدام الأمونيا له عدة سلبيات. فإضافة الأمونيا قبل التعادل أى عند رقم هيدروجينى أقل من (7) يعتبر خطيراً وذلك فى حالـة وجـود سبائك النحاس فى نظام التكثيف أو أسفل تيار هذا النظام فى عملية سحب المياه.

عند رقم هيدروجينى أكبر من 7 إلى 8.5 (طبقاً للمصدر) فإن النحاس يكون مركـب معقد يسمى (Cuprammonium complex) حيث يكون من المتوقع تلف مثل هذه المواد. وبالمثل فإن بعض الأمينات ذات الوزن الجزئى المنخفض يمكن أن تكون مركبات معقدة مع النحاس.

التحكم فى الرقم الهيدروجينى أصبح متاح باستخدام أجهزة القياس والتسجيل والتغذية الآلية. استخدام هذه الأجهزة حقق وفرة فى حقن الكيماويات وزيادة كفاءة مقاومة التآكل.

سلبية ثانية لاستخدام الأمونيا هى تكون رواسب (Deposits) من كلوريد الأمونيـوم والتى تسبب مشاكل ترسيب الأوساخ والملوثات (Fouling Problems) بما ينـتج عنـه انخفاض فى معدل التدفق وفى الانتقال الحرارى. الغسيل المتقطع أو المسـتمر بالمـاء وهو المفضل يمكن أن يزيل الرواسب. كذلك فإن تلك الترسيبات يمكن أن تسـبب تآكـل معدن الأساس، بالإضافة إلى أن التآكل يمكن أن حدث فى عدم وجود المجال المائى، وهو حدوث غير عادى فى ظروف تكرير البترول. ولكن بعض الأبحاث أثبتـت أن اسـتخدام الأمينات ذات الوزن الجزيئى المرتفع والتى لا تكون رواسب كلوريدات من كل من مجال الهيدروكربون والمجال المائى والتى لها قوة درئ عاليـة (Bu ffer) مقارنـة بالأمونيـا والمورفولين. هذه المواد تمكن من سهولة التحكم فى الرقم الهيدروجينى كما أنها تحد إلى درجة كبيرة من خطورة تآكل النحاس عند رقم هيدروجينى مرتفع (أكبر مـن 7.5 فـى وجود الأمونيا أو الأمينات).

المثبطات المكونة للطبقة (Filming Inhibitors) :

عمليات التكرير وتصنيع البتروكيماويات تستخدم عديد من المثبطات التى تكون طبقة حماية تحت مختلف الظروف. آلية أداء كل المواد واحدة وتتطلب إدمصاصهـا علـى

المعدن خلال مجموعتها القطبية (Polar Group) أو الرأس. الذيل الغير قطبى لجزئ المثبط يتوجه فى اتجاه عمودى عادة على سطح المعدن. من المعتقد أن ذيول الهيدروكربون تتشابك مع بعضها البعض مكونة طبقة مدمجة الطاردة للسوائل المائية، مكونة حائل ضد التآكل الكيماوى والكهروكيميائى للسوائل على معدن الأساس. التأثير الآخر هو الامتصاص الطبيعى لجزئيات الهيدروكربون من سوائل العملية بزيول الهيدروكربون لجزئيات الهيدروكربون المتميزة، هذا يزيد كلاً من السمك وتأثير الحائل الطارد للماء (Hydrophobic Barrier) بالنسبة للتآكل.

بناء على ما تم شرحه، فإنه يمكن معرفة لماذا تلك المثبطات أكثر تأثيراً فى وجود المجال الزيتى (Oil Phase). فى الواقع، إنه يكون من الصعب عادة استخدام مثبطات الطبقية بشكل مؤثر واقتصادى فى عدم وجود مجال الزيت. اختيار المثبط المناسب لاستخدام معين هو مشكلة عملية وليست نظرية. توجد المثبطات ذات مجال كبير للإذابة وخواص طبيعية أخرى. التركيزات التى تستخدم عندها عموماً حوالى 10 جزء فى المليون طبقاً لمجال الهيدروكربون. رغم وجود كثير من المثبطات القطبية فى المراجع العلمية ، إلا أن الأكثر استخداماً فى تكرير البترول يحتوى على النيتروجين القاعدى مثل الأمينات (Amines , Diamines , Pyrimidines) وأملاح هذه المركبات أو مركباتها المعقدة (Complexes) مع الأحماض الدهنية، الأحماض النفيثينه (Naphthenic Acids) والسلفونيت (Sulphonates). المثبطات تختلف فى درجة الإذابة .. الخ. وكذلك يجب اختيارها بما يتلاءم مع مجال الرقم الهيدروجنى والخواص الأخرى للسائل.

عموماً، من الناحية الاقتصادية يلزم خفض كل أو جزء من محتوى الحامض للتدفقات المعالجة بالأمونيا أو عامل تعادل آخر ثم تقوية ذلك باستخدام المثبط المكون للطبقة. كمثال ، 5 جزء فى المليون من المثبط المكون للطبقة عند رقم هيدروجينى 5.5 يعتبر مؤثر عادة واقتصادى فى المعالجة. عند رقم هيدروجينى منخفض يلزم مثبط مضاعف عدة مرات، بينما عند رقم هيدروجينى مرتفع يجب مراعاة ترسيبات كلوريد الأمونيوم.

المثبطات المكونة للطبقة تتميز عن الأمونيا والأمينات المتطايرة الأخرى فى أنها تعتبر غير متطايرة ، لذلك فى أى عملية لفصل الغاز عن السائل فإنها تظل مع السائل

حيث يمكن تركيزها فى الأجزاء الثقيلة من عملية التقطير. هذا يعنى أن المثبطات يجب ان تحقن بمعدة مناسبة عند نقطة الاستخدام. فى حالة حدوث مشكلة تآكل أخرى عند تحت التيار للوحدة. قد يكون من الضرورى حقن مثبط إضافى لحماية الوحدة الثانية. تأثير المعالجة بالمثبط فى مقاومة التآكل يتم متابعته بسهولة فى نظم تكرير البترول باستخدام عينات اختبار التآكل ، أو أجهزة قياس التآكل ، أو مجسات مقاومة التآكل أو بتحليل تدفقات العملية بالنسبة للمعدن المذاب.

معدة الاستخدام :

كما سبق التأكيد عليه فإن المثبط لا يمكن أن يكون مؤثراً إلا إذا ملتصقاً جيداً مع سطح المعدن المعرض عند التركيز المطلوب وعند نقاط العدوانية. نظراً للتركيزات المنخفضة جداً المطلوبة للمثبط، حتى أن تدفقات من آلاف براميل فى اليوم تحتاج إلى عدة جالونات قليلة من المثبط، المثبط . يتم تخفيفه بمذيب مناسب ثم حقنه فى التدفقات (Streams) عند الأماكن المطلوبة بواسطة طلمبة حقن كيماويات صغيرة والتى يمكن أن تقاوم ضغط الوحدة تحت التشغيل. ولكن فى العادة يكون من المناسب تخفيف المثبط بتدفقات المنتج الذى سيتم حقنه. يمكن استخدام مضخة مناسبة، أو تدفق جانبى من الوحدة تحت التشغيل. كذلك فإن الحجم الزائد من حلول المثبط الذى يتم حقنه يزيد من كفاءة الخلط فى تدفقات العملية وكذلك يزيد من تجانس المعالجة. توجد معدات خاصة مثل (Guills) تستخدم لحقن المثبط كنقاط صغيرة أو كضباب فى التدفقات الغازية ولتحقيق تجانس أكثر من الانتشار. وهذا هام عندما يكون المطلوب فى معالجة الغاز أكثر منه فى حالة السائل.

من بين الأبحاث الجديدة هو استنباط صيغة تشمل كلاً من مثبطات التعادل والمثبطات المكونة للطبقة فى وعاء واحد والجمع بين المثبط والمضاد لتراكمات ولترسيبات القاذورات (Antifoulant).

اعتبارات خاصة فى استخدام مثبطات التآكل فى معامل التكرير :

المثبطات المكونة للطبقة والمسببة للتعادل فى معامل التكرير للبترول لا توفر علاج لكل المشاكل. المعالجة الكيماوية لمنع التآكل هى من بين الأدوات المتعددة التى يستخدمها المتنافسون كطريقة لمقاومة التآكل بديلة لإجراءات أخرى مثل المواد الخاصة ذات

المقاومة، طبقات التغطية للحماية، اعتبارات التصميم وخلافة ... الخ. وقبل مناقشة فوائد وعيوب الإجراءات المختلفة للحماية، فإنه سوف يتم تناول بعد المحددات لتجنب المثبطات.

حدود درجة الحرارة :

المثبطات المكونة للطبقة تحتوى على جزئيات عضوية حيث الكربون متصل بالكربون ، الكربون بالهيدروجين، الكربون بالنيتروجين بأربطة وهكذا. عادة شأنها شأن الجزئيات العضوية الأخرى تتحلل وتتفكك بالحرارة . وقد سبق أن قلنا أن المثبطات يوصى بها فقط لدرجة الحرارة المنخفضة حيث نعنى بهذا التآكل فى وجود الماء. هذا بالإضافة إلى أن المثبطات المكونة للطبقة تعمل خلال عملية إدمصاص والتى عموماً يصبح تأثيرها أقل عند درجات الحرارة المرتفعة ، حيث تحتاج إلى جرعات معالجة أعلا لاستمرار الطبقات المؤثرة على أسطح المعدن. وهذا يزيد من استهلاك كيماويات المعالجة. عند درجة حرارة أعلا من 230- 5260م يمكن القول أن مثبطات تكون الطبقة لها استخدامات محددة، رغم أنه يمكن استخدامها عند درجات الحرارة الأعلى.

تفاعلات الترسيبات من القاذورات (Fouling) التى تحدث فى المجال ما بين 150 – 5370م تسبب مشاكل كثير منها يمكن علاجه باستخدام الكيماويات المزيلة لهذه الترسيبات (Chemical antifuoulants). عند درجة حرارة ما بين 370 – 5430م الخبرة محدودة نحو استخدام.

التركيز الغير كافى :

كثيراً من المثبطات سواء المسببة للمناعة أو المكونة للطبقة يمكن أن تصنف بأنها مثبطات خطرة ذلك لأنها يمكن أن تحدث زيادة فى التآكل الموضعى وتآكل ثقبى مقارنة فى حالة عدم المعالجة بها وذلك عند استخدامها بكميات غير كافية لتكوين طبقة مقاومة مؤثرة. لهذا السبب ، فإنه لا ينصح بخفض تكلفة المثبط من خلال الجرعة دون المستوى الأمن.

فإذا كان الحديد هو المستخدم لقياس ناتج تفاعل المثبط، تكون الزيادة الأولية عند بدء المعالجة عادة بسبب النظافة للأسطح التى عليها الترسيبات، والتى تنخفض فوراً بمعدل أقل من ذلك قبل المعالجة. فى حالة خلاف ذلك، عندئذ فإنه يكون إما المستخدم من المثبط قليل جداً، أو أن المثبط لم تتم إضافته بالشكل الذى يمكنه من الوصل إلى المعدة المتآكلة.

فى التطبيقات العملية الحقيقية يضاف المثبط عادة بتركيزات 5 إلى 10 أضعاف القيمة النهائية الموصى بها. التركيز العالى يقلل من الزمن اللازم للتخلص من الترسيبات القديمة وكذلك يعجل الوصول إلى طبقة جيدة على السطح النظيف. ينخفض التركيز بعد ذلك تدريجياً، حتى الوصول إلى المستوى المطلوب للتثبيط بتكلفة اقتصادية (كما يتم توضيحه بعينات الاختبار، مقاومة مجسات الاختبار، تحاليل الماء).

خاصية النشاط السطحى للمثبطات (Surfactant Properties of Inhibitors) :

كما سبق توضيحه فإن تأثير مثبطات تكون الطبقة يتوقف على الادمصاص القوى لجزئيات المثبط فى منقطة التقابل (Interface) بين سوائل العملية، سطح المعدن المطلوب حمايته. إنه عادة لمواد النشاط عند تقابل الصلب/ السائل أن تكون نشطة كذلك فى مجال السائل/ السائل أو الغاز / السائل. فى الحالة الأولى قد تسبب مشاكل استحلاب ، الأخيرة قد تسبب الرغاوى والزبد، مشاكل الاستحلاب واضحة فى سحب المياه من معدات التكرير فى صناعة البتروكيماويات كمثال. فصل الزيوت والقار من نظام الماء لتبريد الإيثيلين.

من المهم جداً عند تكرير المنتجات مثل وقود النفاثات هو الاستحلاب لكميات صغيرة من الماء فى المنتج. الماء يمكن أن يدخل النظام بسبب أحواض التخزين والتى تتنفس جو رطب أو الحاملة للمياه فى القاع أو التلوث الناتج عن التداول الغير حذر. الماء الذى يدخل فى نظم تخزين وقود النفاثات يصعب إزالته بالترسيب أو الاندماج (Coalescers) عند وجود المثبطات فى النظام.

بسبب الضرر الناتج عن استحلاب المياه المسبب لتنشيط نمو البكتريا فى أثقاب حقن وقود النفاثات وفى انسدادها وتجميد الوقود، فإن مشترى الوقود تكون لهم مثبطات حاسمة

بالنسبة لهذا الماء وكذلك تأثيرها على الوقود. وهذا يتحدد بواسطة مخطط جهاز فصل المياه (ASTM Water Separator Index) ، أساساً المخطط يوقع وجود الماء المستجلب و/أو نقاط الماء المحتجزة فى وقود النفاثات مع عكارة الوقود مقاساً فى ظروف قياسية يتم التحكم فيها. تأثير مثل مواد النشاط السطحى هذه كمثبطات للتآكل يمكن تحديده بهذا الاختبار. لا يمكن التعميم نحو تأثير مادة معينة على وقود معين، ذلك لأن الوقود نفسه به آثار من مواد قضبية (أيونية – Polar) والتى يمكن أن تعمل كمثبطات، مثل آثار المواد هذه تكون موجودة فى إمدادات الخام.

اختبار المستجلبات أو مزيلات الاستحلاب (Demulsifiers) هو مجال مبنى على الملاحظة والاختبار ويتطلب أن المستحلب المطلوب تقيمه مع مواد معينة يتطلب عمله أو تكسيره. نظراً لوجود كثير من مثبطات التكرير التجارية، فإنه عادة يمكن معرفة المؤثر كمثبط للتآكل مع إنتاج أقل استحلاب أو الذى يمكن تطويره بعامل تكسير الاستحلاب بدون فقد خواصه كمثبط للتآكل.

الاعتبارات الاقتصادية للمثبط الكيماوى وإجراءات أخرى لمنع التآكل :

عند مناقشة مختلف الإجراءات لمنع التآكل، من المفيد اعتبار التآكل الناتج عن السائل المائى على المعدن له ثلاث متطلبات.

- ✓ عدوانية السائل.
- ✓ نشاط المعدن واستعداد التآكل.
- ✓ مدى الالتصاق الجيد بين المعدن والسائل.

نظم المقاومة التى هى تغيير المعدن أو المجال الملاصق أو وجود حائل بينهما لمنع التصاقهما. إلا أنه من الطبيعى الجمع بين أثنين أو أكثر من هذه الطرق لتوفير أحسن النتائج.

تغيير المعدن :

نشاط المعدن يمكن تغييره إلى حد ما بالتغير فى معالجته الحرارية أو التغيرات القليلة فى مكوناته ، ولكن لحدوث اختلاف واضح فىمقاومة التآكل، فإنه يكون مطلوب معدن

مختلف تماماً. لذلك، فإن الصلب الكربونى يمكن أن يستبدل بـالبرونز أو بأحـد أنـواع الصلب المقاوم أو بسبائك أخرى. ولكن التكلفة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. ولكن رغـم التكلفة العالية للسبائك والمعدن الغريبة مثل سـبائك ومعـادن التيتـانيوم والزركونيـوم والتنتالام (Tantalum) ، إلا أنه توجد ظروف كثيرة مثل درجـات الحـرارة المرتفعـة والمنخفضة (Gryogenic) ، الضغط العالى للهدرجة، بيئة درجة الحرارة العالية للأكسدة وحالات أخرى حيث زيادة تكلفة المعادن كبيرة تكون مبررة. عموماً تلك المواد المكلفة لا يتم استخدامها بدون التقدير المعملى المتقن للخـواص الكيماويـة والطبيعيـة وخـواص التآكل وكذلك الخبرة الحقلية فى وحدات التجارب النصف صناعية (Pilot- Plant) ولكـن من المعروف أن التلف يحدث عادة بسبب عدم القدرة على ازدواج ظـروف التعـرض الحقيقية فى العمل ونفس الظروف فى وحدة التجارب النصف صناعية. مثل هذا التلـف يمكن أن يكون مكلف جداً وفى كثير من الحالات يكون مأساوى أى لا يعطى أى تحـذير عن اقتراب حدوثه بما ينتج عنه فقد كبير فى المنتجات والمعدات وزمن الإنتـاج وحتـى للحياة.

عوازل منع التآكل (Corrosion Prevention Barriers) :

مختلف مواد التغطية والتبطين والتغليف أو التصفيح (Cladding) هى نماذج لمقاومة التآكل بالعوازل التى تفصل البيئة العدوانية عن المعدن الذى يتآكل. بينما أن تكلفـة هـذه النظم مرتفعة (نادراً ما تكون مرتفعة مثل السبائك المقاومة) إلا أن عمرها محدود. كمـا فى حالة المعادن فإن التغطية والتبطين يتم تقيمهم فى العمل وفى الموقع تحـت ظـروف مقاربة لظروف الخدمة ما أمكن. السبب الرئيسى لتلف العازل لـيس بسـبب المقاومـة الطبيعية للعازل نفسه ولكن بسبب العيوب فى عملية وضعه وتطبيقاته على جسم المعدن ، مثل الثقوب فى الشروخ أو عدم استمرار التلاصق للعازل بأى شكل. وهذه العيـوب قـد ترجع إلى التلف الميكانيكى الذى لا يمكن تجنبه بالإضافة إلى عدم الاستخدام الجيد لطبقة التغطية أو البطانة. وهذا بسبب التآكل ليس فقط للنقاط المعزولة على المعدن العارى الغير محمى، ولكن كذلك على طبقة التغطية نفسها وذلك بالقطع السفلى حول العيوب.

طبقات التغطية تستخدم عادة على الأسطح الخارجية أو الأسطح الداخلية للأوعية ذات الحجم الذى يسمح بملاحظة ظروف التغطية بالنظر على مراحل واستبدال العيوب. ولذلك

فإن تلف طبقة التغطية نادراً ما يسبب تلف خطير فى استخدامات التكرير. هذا بالإضـافة إلى أن طبقات التغطية وخاصة ذات الأساس العضـوى، لا تسـتخدم تحـت الظـروف القصوى لدرجة الحرارة والضغط والمجال الكيماوى مثل سـبائك التكريـر (Refinery alloys).

بدائل المجال العدوانى (Alfernatives of Corrosive Environment) :

استخدام أمينات التعادل (Neutralizing Amines) للتآكل الحامضـى فـى عمليـات التكرير هى مثال لتبديل المجال. استخدام الأمينات المكونة للطبقـة (Filming Amines) يمكن اعتباره كتجميع بين التغير فى المجال والعزل الواقى، فمثلاً، طبقة المثبط الممتـزه المكمل لطبقة الزيت الممتصة.

المعالجة الكيماوية باستخدام مواد التعادل و/أو مثبطات الطبقة يتم تصنيفها فى المعمل واختبارها فى المصنع لتقييم بيانات المعمل.

فى هذا المجال فإن مميزات المعالجات الكيماوية هى أن كفاءة المعالجة يمكن تتبعها بسهولة وبتكلفة قليلة فى المصنع حيث يمكن عمل أى تعديل مطلوب سريعاً فى حالة عدم ملاءمة المعالجة الأصلية. نظراً لسهولة وحساسية وسرعة الطرق المستخدمة فى مراقبـة ورصد معالجات المثبط فى الموقع ، إلا أن هناك احتمال فقد فى المعدة أو فى الكفاءة أو حدوث تلف شديد. عموماً كل ما هو مطلوب هو باستخدام حجم اسمى من الكيماويـات، معدات التغذية المناسبة وتجهيزات قياس التآكل.

التآكل فى وحدات معالجة الغاز (Corrosion in Gas Processing Units) :

زاد الاهتمام بالتآكل فى وحدات إزالة كبريتيد الهيدروجين (Sweetening) من الغاز وفى وحدات المعالجة الأخرى زادت أهمية مع نمو صناعة الغاز الطبيعى وزيادة حجـم مصانع التكرير والبتروكيماويات البعيدة عن الغاز والمنتجات الخفيفة مثل الإيثيلين ومـع عدد من العمليات لمعالجة تلك الغازات. فإن المكونات الحامضية مثل ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين عادة يتم إزالتهم من الغاز الطبيعى فى وحدات التنقيـة المركزيـة الحقلية قبل نقل الغاز وبيعه ، كذلك فإن هذه المكونات يجب أن تزال من تدفقات الغاز من

المصنع، كما فى حالة تدفقات لتكسير الهيدروكربون (Hydro carbon Cracking) لإنتاج الإيثيلين ، وذلك قبل تعرض الغازات إلى التجزئة (Fractionation) ذات درجة الحرارة المنخفضة. فى إنتاج الغاز المخلق لتحويله إلى الأمونيا أو إلى الميثانول ، كمثال ، فإنــه عادة يكون من الضرورى إزالة ثانى أكسيد الكربــون المتكــون بــالاحتراق الجزئــى للهيدروكربونات أو بعملية تفاعل الغاز مع الماء لإزالة ثانى أكسيد الكربون.

تم تطوير كثير من عمليات تنقية الغاز خلال العقود الماضية لتنافس العمليات القديمة لإزالة كبريتيد الهيدروجين بالإثانول أمين بتلك العمليات المختلفة لها كفاءة أعلا بالإضافة إلى اقتصادياتها أكثر من عمليات المونوإثانوال أمين والدائ إثانول أمين. المبدأ لكل هــذه العمليات واحد ويشكل الادمصاص والاستخلاص فى ظروف الاتزان (Equilibria) بــين غازات ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين ومختلف ســوائل المعالجــة . حالــة الاتزان هذه تعمل على تكون الأملاح أو على زيادة الإذابة للغاز فى السائل عند درجات الحرارة المنخفضة والضغوط العالية.

مع انخفاض الضغط وارتفاع درجة الحرارة يتحلــل الملــح (Decomposed) و/أو ينطلق الغاز من المحلول. وهذا يجدد استخلاص المذيب لإعادة الاستخدام ويعمــل علــى انطلاق الغازات لصرفها ، صرفها أو معالجتها مثل صناعة الكبريت، مصــانع معالجــة الغاز أربكتها مشاكل التآكل من المبتدأ. معظم المشاكل يكون بسبب تكسر المذيبات مــثلاً (Monoethanolamine) ، عند درجات الحرارة المرتفعة لتجديد (إعادة توليــد) مرجــل إعادة المغلى (Rebolier Regenerator). من المفترض أن نواتج التكسير (Break down products) يمكن أن تغلف (Chelate) الحديد وتمنع تكون طبقة حماية غير مذابة عنــد الرقم الهيدروجينى العالى للتشغيل، الرقم الهيدروجنى الذى يمنع تآكل الحديد. فــى هــذا المجال يوجد تشابه بين تآكل الحديد فى محاليل الأمين فى إعادة توليد الغاز، وذلك مــن ناتج مصانع التكسير (Hydrocracking).

بناءاً على ذلك فإن مشاكل التشغيل يمكن خفضها بالتشغيل المناسب لوحدة الإنتــاج، حيث أوصى (Butwell) أن حمل الغاز (النسبة ما بين جزئيات الغازات الحامضيــة لكل جزئ من (MEA – Mono Ethanolamine) يمكن المحافظة عليها عند 20% وأن نواتج

التحلل يمكن إزالتها باستخدام وحدة استخلاص لتدفق جانبى (Sidestream Reclaimer). وقد رأى آخرون المحافظة على درجة حرارة مرحلة إعادة الغلى (Reboiler) عند أدنى مستوى عملى ذلك لخفض تفكك المذيب وبالتالى تآكل المعدة.

طرق حديثة أخرى:

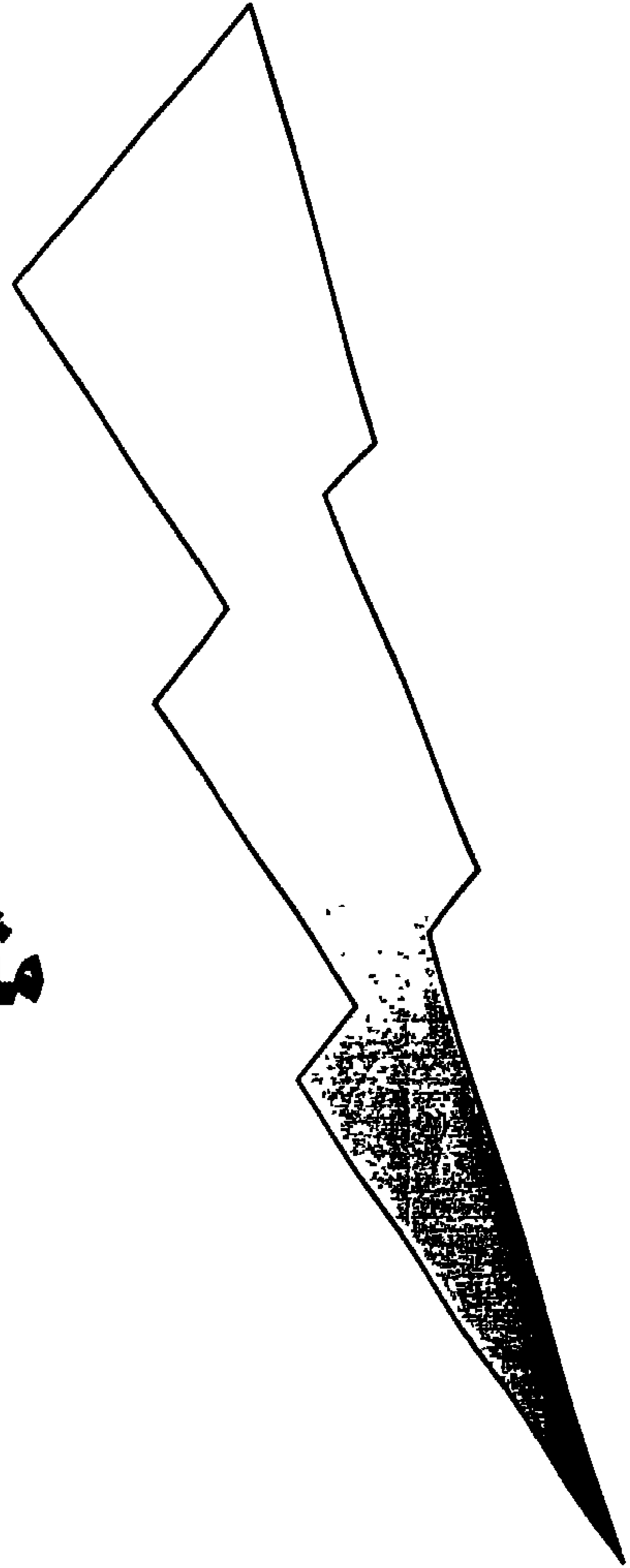
من بين الطرق التى تم تطويرها حديثاً لتنافس الإيثانول أمين هى عملية السلفولين (Sulfalane – Shelloil) . حيث المذيب عبارة عن محلول مائى من (Dilsopropyl Amine and Sulfolane) . وكذلك استخدام (Tri-n-butyl Amine phosphate) كمذيب استخلاص. وهذه الطريقة تزيل فقط كبريتيد الهيدروجين من ثانى أكسيد الكربون. وتحتاج إلى درجة حرارة أقل من المونوإيثانول أمين لسبب طبيعى وليس الادمصاص الكيماوى للغازات الحامضية. وكذلك طريقة سيليكزول (Selexol) حيث المستخدم كمذيب (Polyethylene Glycol Dimethyl Ether) ، والذى يزيل ثانى أكسيد الكربون من كبريتيد الهيدروجين وتكلفته الاقتصادية قليلة وكذلك تكاليف الصيانة أقل. لذلك استخدم سلفيت الصوديوم (Na2SO3) والهيدروجين لإزالة الأكسجين وخفض حمل التآكل.

مختلف مشاكل التآكل فى عمليات التكرير :

كثير من مشاكل التآكل المختلفة فى مصانع التكرير ومصانع البتروكيماويات التى لم يتم مناقشتها تشمل التصاق المعدن بالأحماض المركزة مثل حامض الكبرتيك فى الألكله (Alkylation) – استبدال شق النياتى هيدروكربونى فى مركب عضوى حلقى بالهيدروجين، حامض لنيتريك من أكسدة الأمونيا وهكذا. عموماً مشاكل التآكل هذه يتم حلها بطريقة أخرى بخلاف استخدام مثبطات التآكل. كمثال، بتغيير تصميم العملية – مثل التأكيد على خلو النظام من الماء أو بالمحافظة على استمرار حامض الكبرتيك عند تركيز مرتفع كافى ليصبح غير عدوانى على الصلب، أو بالطرق الميتاليرجية واختيار سبائك مقاومة، باستخدام طبقات الحماية للتغطية والتبطين أو بالحماية الآنودية.

الفصل السادس

مثبطات التآكل فى حقول البترول والغاز



مقدمـــــــة :

المثبطات المستخدمة على نطاق واسع لحماية معدات آبار البترول والغاز هى مـن الأنواع الكاتأيونية والآن أيونية والتى تنتج طبقة زيتية طاردة للماء. المستخدم أساساً فـى معالجة مياه التبريد هى المثبطات الغير عضوية المسببة للمناعة. المثبطات العضوية الآن أيونية التى تكون طبقة زيتية طاردة للماء زاد استخدامها فى نظم المياه.

الخواص الطبيعية لمثبط التآكل :

أ- الإذابة : Solibility

كل مثبطات التآكل السائلة يمكن تقسيمها بالنسبة للإذابة فى الزيت والمـاء وكـذلك خواص الانتشار والتشتت. هذه الخواص هامة لعدة أسباب. كثيرة من تقنيـات المعالجـة تتطلب تخفيف المثبط فى مذيب مناسب (ماء، زيت البترول الخام، الكيروسين .. الخ) قبل الاستخدام. يعتبر المثبط مذاب فى المذيب إذا ظل خليط المثبط والمـذيب رائقـا. يعتبـر المثبط قابل للانتشار فى المذيب إذا أمكن انتشاره فى المذيب بالرج اليدوى المتوسط. كمية المذيب هى عاده تساوى أو أكبر من كمية المثبط. انتشـار (Dispersion) المثـبط فـى المذيب قد ينكسر بسرعة (أى فى أقل من دقيقة). وهذا هو الانتشار المؤقت. المثبط الذى يظل منتشراً بانتظام وتجانس فى المذيب هو المثبط المنتشـر (Dispersible Inhibitor). طبقاً للتركيب الكيماوى للمثبط، فإن الخواص يمكن أن تكون الجمع بين ما سـبق أى أن المثبط يمكن أن يكون مذاب جزئياً ومنتشر جزئياً فى نظام مذيب معين.

ب- الشكل : Form

معظم المثبطات المستخدمة فى مجال حقول البترول والغاز تكون سـائلة. كثافتهـا تتراوح ما بين 7 – 12 رطل فى الجالون طبقاً للطبيعة الكيماوية للمثبط، نظام المـذيب، ونظام الاستخدام. يجب تصميم نظام المذيب بحيث يكون المنتج لا يتجمد عند

التعرض للظروف الحقلية شديدة البرودة. المثبطات السائلة تتوفر عادة فى عبـوات 55 جالون أو 5 جالون. كما يمكن حفظ المثبطات السائلة فى كبسولة ذات غـلاف قابـل للذوبان فى الماء، حيث يذوب ببطء عند درجة حرارة القاع حيث يتحرر المثـبط، هـذه

الكبسولات تكون كثيفة حيث تسقط فى قاع البئر. تصمم الكبسولات لتذوب فى البئر حيث يتحرر المثبط بالمعدل الذى يعطى التركيز التقريبى المطلوب فى السوائل المنتجة.

كما تتوفر المثبطات فى شكل قضبان صلبة (Solid Stick) التى تغوص نحو قاع البئر، وتذوب ببطء ولفترة طويلة ممتدة. وهذه يمكن إيلاجها خلال تجهيزه مزلجة.

التوافق مع الكيماويات الأخرى: (Compatability With Other Chemicals)

توافق مثبطات التآكل مع الكيماويات الأخرى ليست مشكلة عادة عندما يوجد المثبط والكيماويات بتركيزات عدة أجزاء فى المليون. ولكن فى بعض الحالات، فإن مادتين أو أكثر من الكيماويات يتفاعلوا مع بعضهم حيث يتم إلغاء تأثيرهم. هذا بالإضافة إلى أن مستخدم الكيماويات قد يرغب فى خلط الكيماويات المختلفة بحيث يمكن استخدام مضخة واحدة فى الحقن. كثيراً من الكيماويات حقول البترول لا تتوافق مع مثبطات التآكل بسبب التغيرات فى نظام المذيب، نوع الكيماويات (الكاتأيونى مقابل الأن أيونى) .. الخ. فى الواقع، فإن كثيراً من مثبطات التآكل لا يتوافق بعضها مع بعض. يتم عمل المباحث عند خلط أى كيماويات.

خواص تكوين المستحلب : Emulsion Forming Characteristics

بسبب طبيعة النشاط السطحى لمعظم مثبطات التآكل، فإنه يمكن تكوين مستحلبات فى نظم الماء – الزيت. بعض هذه المستحلبات ينكسر سريعاً بينما بعضها يكون شديد الثبات ويستحيل تكسيره عملياً. إدخال المواد المزيلة للاستحلاب (Demulsifiers) فى مثبط التآكل ليس ضامناً ضد تكون المستحلبات الثابتة. السوائل المنتجة من كل حقل يمكن أن تختبر للحصول على تأكيد معقول أنه سوف لا يتكون مستحلب ثابت عند استخدام مثبط تآكل معين. وهذا الاختبار البسيط سيتم تناوله فى نهاية هذا الفصل.

التحلل والتفكك الحرارى : Thermal Degradation

مثبطات التآكل لها حدود لدرجات الحرارة والتى بعدها فإنها إما أن تفقد تأثيراتها وأحياناً يحدث تغير لمكوناتها الكيماوية. درجة الحرارة هذه يمكن أن تتغير لأى مثبط واحد طبقاً للضغط، ووجود الماء وحالات أخرى. مثال هو ملح (Acid – Amin Salt) فى ظروف الجو العادى فإن هذا الملح سيتحلل لإنتاج الماء والآميد (Amide) عند 70 –

87°م. ولكن هذه المادة الكياوية يمكن أن تستخدم فى آبار الزيت فى وجود الماء عند درجات الحرارة هذه بدون تحلل واضح. المثبطات ذات أنواع البناء الأخرى قد تكون (Structural Types) قد تكون ثابتة عند درجات حرارة تتراوح ما بين 93 - 315°م أو أعلا طبقاً لتركيبها البنائى.

اختيار مثبطات التآكل :

اختيار مثبط التآكل يتوقف على طبيعة النظام المطلوب معالجته وطريقة الاستخدام. وهو عادة يبنى على بعض أنواع الاختبارات بالإضافة إلى الخبره فى الموقع.

طرق الاختبار : (Test Procedures)

الاختبار الاستاتيكى :

فى الاختبار الاستاتيكى للوكالة الدولية لمهندس التآكل (NACE) يكون الفقد فى الوزن لعينة الاختبار من الصلب المطاوع بعد التعرض لمحلول ثم تثبيطه (Inhibited solution) . تتم المقارنة بنتائج المحلول الغير مثبط من الماء المالح (Synthetic Brine) . يتم تعرض عينة الاختبار من الصلب لمحلول مثبط من الزيت لفترة زمنية قصيرة، يليها الغمر فى الماء المالح لباقى الاختبار. فى حالة المثبط المذاب فى الماء يتم تثبيط الماء المالح.

اختبار العجلة : Wheel Test :

اختبار العجلة هو اختبار الفقد فى الوزن الديناميكى، حيث تغمر عينة الاختبار الموزونة فى سوائل الاختبار وتدور على عجلة عند عدد لفات فى الدقيقة ثابت ودرجة حرارة ثابتة لفترة زمنية. عينة الاختبار هذه هى للرصد والتحكم (Blank-Or-Control). فى النظام المستخدم لتقنية مشابهة يستخدم تركيز معلوم من المثبط. يجرى هذا الاختبار متزامنا مع الرصد والتحكم. بعد نهاية الفترة الزمنية فإن كمية إخماد الفقد فى الوزن الناتج عن المثبط يتم تحديدها.

اختبارات التدفق : Flow Tests :

اختبار إعادة التدوير الديناميكى يمكن استخدامه عندما يكون مطلوباً محاكاة ظروف التدفق الحقلية. أحد المعايير المطلوبة التحكم فيها هى سرعة المجال العدوانى، نسبة

الزيت إلى الماء ، درجة الحرارة، تركيز الغازات المذابة. المتغيرات التى يمكن أن تكون مفروضة هى نوع المجال العدوانى، تركيز المثبط، تأثير التآكل المسبق لعينـة الاختبـار ونوع معالجة المثبط.

نوع اختبار التدفق هذا يوفر اختبار حاد إلى درجة كبيرة لعمر طبقة المثبط مقارنـة باختبار القنينة الاستاتيكية. فهو يوفر تقنية مفيدة لدراسة المتغيرات التى تؤثر على كفـاءة المثبط. العلاقة المتبادلة (Ccorrelation) بين الاختبارات المعملية والاسـتخدام الحقلـى للمثبط فى النظم الحامضية بفعل (H_2S) والخالية من (H_2S) يفضـل اسـتخدامها لهـذه التقنية عن استخدام البيانات من الاختبار الاستاتيكى.

اختبار أيون النحاس : Copper Ion Test :

فى اختبار أيون النحاس يتم غمر عينة الاختبار المتصلة بخطاف زجاجى فـى 5% محلول كلوريد الصوديوم لمدة خمسة دقائق. يلى التعرض للماء المالح يتم غمر العينة فى محلول المثبط بتركيز 1% فى كيروسين غير مستقطب لمدة خمسة دقائق. يـتم عندئـذ انتقال العينة إلى محلول كبريتات نحاس بتركيز 10% حيث يمكن لحين ملاحظة ترسيب النحاس. الاختبارات تتم عند درجة حرارة المعمل. الزمن بالثوانى أو الدقائق اللازم لبدء ترسيب النحاس على العينة يكون مطهر لقدرة المثبط على إيقاف التآكل.

اختبار التدفق الجانبى : Side stream Testing

يمكن عمل الاختبارات فى الحقل برصد عدوانية السائل (المطلوب تقييمه) فى وجود مثبطات مختلفة. يتم عادة تنفيذ ذلك بمعالجة تدفق جانبى من السائل وقياس تأثير المثـبط بمقياس الاستقطاب الطولى (Linear Polariztion Meter).

الخبرة فى المنطقة : Experience in the Area

من المفيد دائماً المراجعة مع العمالة الأخرى الموجودة فى المنطقة لتعيين الكيماويات وطرق المعالجة المستخدمة ونتائج هذه المعالجات. هذه المعلومات يمكن أن تكـون ذات فائدة كبيرة لتوفير نقطة البدء لبرنامج المثبط.

تقنيات استخدام مثبطات التآكل فى آبار الزيت والغاز :

توجد تقنيات كثيرة مستخدمة لاستخدام مثبطات التآكل فى آبار الزيت والغاز. كل تلك التقنيات لها نفس الغرض وهو وضع طبقة المثبط التى تكون مانعة لنفاذ المجال العدوانى مع تغذية هذه الطبقة من آن إلى آخر (معالجة متقطعة) أو باستمرار (معالجة مستمرة) أو الجمع بين الاثنين. نوع المثبط ونوع المعالجة هو الذى يمليه طريقة معدات البئر. إذا كان البئر له عامود المواسير (Tubing string) موضوع على عازلة الإنتاج (Packer) عندئذ فإن التدوير ما بين المواسير والفراغ الحلقى بين المواسير والقيسون يكون مستحيل. كثيراً من الآبار ليس لديها عازلة الإنتاج ، بما يمكن من التدوير.

البئر المتدفق يمثل موقف مختلف عن البئر الذى يتم رفعه صناعياً برفـــع الغـــاز أو بأحد أشكال الطلمبات الغاطسة.

المعالجة على دفعات Batch Treatment :

التقينيات المختلفة للمعالجة على دفعات تستخدم فى معالجة آبار الزيت والغاز شاملة استبدال المواسير ، الدفعة القياسية ، دفعة المعالجة الممتدة.

إحلال المواسير : Tubing Displacement

الآبار المجهزة بعوازل الإنتاج وآبار رفع الغاز أحياناً تعالج بإحلال المواسير. مثبط بتركيز حوالى 10% إما مذاب أو منتشر فى الماء أو فى الهيدروكربون. الماء يمكـــن أن يكون عذباً أو أن يكون ماء مالح منتج. الهيدروكربون يمكن أن يكون منتج أو أن يكـــون منتج مكرر مثل الكيروسين أو الديزل – الكمية المطلوبة من هذا المخلـــوط يـــتم عندئـــذ استبدالها خلال المواسير إلى قاع البئر بالضخ للسائل (عادة سوائل منتجة) فـــى مـــؤخرة الخليط. كمية السائل المزاح تحسب بتقدير حجم المواسير وطرح حجم خليط المثبط. بعـــد إزاحة المثبط نحو القاع، عادة يتم قفل البئر لمدة من 2 إلى 15 ساعة. ثم يعود البئر بعـــد ذلك إلى العمل العادى.

طريقة إحلال المواسير تعرف كذلك بـــ "Kiss squeeze". هذه الطريقـــة للمعالجـــة تستمر من أسبوع إلى عدة شهور طبقاً للنظام وللمثبط.

الدفعة القياسية : Standard Batch

أحياناً يتم معالجة آبار الضخ بالتثبيط على دفعات فى الفراغ الحلقى وإزاحته نحو القاع بتمرير المنتج إلى الفراغ الحلقى. المثبط يمكن إضافته فى الشكل الغير مخفف، أو أن يخفف بطريقة تشبه لتلك فى حالة إحلال المواسير (Tubular Displacement) المثبط أو خليط المثبط يتم عندئذ تزليجه أو ضخه فى الفراغ الحلقى، جزء أو كل المنتج من البئر يتم تمريرة إلى الفراغ الحلقى (Annulus) لإزاحة المثبط نحو قاع البئر. أحياناً تترك الآبار لتدوير المثبط أسفل الفراغ الحلقى، وأعلا المواسير وعودة إلى الفراغ الحلقى لتدور ثانياً فى تاريخ آخر. وفى حالات أخرى يستخدم التدوير بالدفق (Flush Through) أى يتم ضخ المنتج الطافى فقط فى الفراغ الحلقى لأجل أن يحمل جزء الماء للمنتج المثبط المنتشر فى الماء خلال عامود الزيت فوق الطلمبة.

الآبار لا تدور حقيقى حتى أن عامود السائل يزداد (Builds Up) ليساوى ضغط قاع ثقب البئر أو أن البئر يتم ضخة وأن يكون معدل الضخ أكبر كثيراً من معدل الإنتاج. بالنسبة للآبار التى تضخ لأسفل ولا تضخ لأعلا، فإن الوقت اللازم للوصول للدوران الحقيقى يمكن أن يكون طويلاً جداً. زمن الضخ إلى الفراغ الحلقى يجب أن يناسب بحرص خواص البئر وخواص المثبط.

المثبطات عالية الانتشار تحتاج إلى زمن بثق (Flush Time) لإنتاج 1 – 1.5 برميل من مجال الماء فى آبار ذات 0.1000 قدم من عامود السائل فوق الطلمبة والزمن اللازم لإنتاج 1.5 برميل من مجال الماء فى الآبار من 1000– 5000 قدم منسوب السائل. وهذه يمكن كذلك حسابها.

المثبطات التى لا تتشتت بالماء تتطلب بعض التدوير، طبيعى كلما زاد التدوير كلما تكونت طبقة مثبط أفضل. هذا النوع من المثبطات يستمر من يوم او أثنين إلى عدة شهور طبقاً لنوع النظام والمثبط.

أحد التقنيات للمعالجة المرحلية لآبار الضخ تسمح للبئر بالاستمرار فى الإنتاج بالكامل بينما تستمر معالجته. يتم خلط المثبط الذى يذوب أو ينتشر فى الماء مع الماء

ويوضع فى الفراغ الحلقى. يسقط الخليط خلال مجال الزيت وفى حالة منسوب قليل من الماء أو عدم وجوده فى الفراغ الحلقى، فإن الخليط سوف يذهب إلى القاع ثم ينتج إلى أعلا المواسير، وبذا يعالج البئر. هذه التقنية ليست مؤثرة فى حالة وجود مستوى من الماء كبيراً فى الفراغ الحلقى. معدلات المعالجة هى طبيعى مرة أو أربع مرات فى الشهر.

دفعة المعالجة الممتدة :

دفعة المعالجة الممتدة هى شكل مختلف عن معالجة الدفعة القياسية (Standard Batch) . كمية كبيرة من المثبط (حتى ملئ برميل) توضع فى الفراغ الحلقى للبئر. يتم وضع البئر فى التدوير الكامل والتدوير حتى وصول المثبط إلى أسفل الفراغ الحلقى، أعلا خلال المواسير، ثم العودة ثانياً إلى الفراغ الحلقى. البئر عندئذ يتم وضعه ثانياً فى الإنتاج تاركاً المثبط فى الفراغ الحلقى، مع تغير مستوى السائل فى الفراغ الحلقى، فإن كميات قليلة من المثبط تحمل فى الزيت إلى المواسير، وبذا تعالج المواسير من آن إلى آخر وكذا الطلمبة لمدة أسبوع أو عدة أشهر بعد إضافة المادة الكيماوية. هذا النوع من المعالجة استمر لمدة ستة أشهر فى بعض الآبار. يجب ملاحظة أن هذه التقنية تتوقف على مستوى السائل فى الفراغ الحلقى ذلك لأن المثبط يكون فى المحلول فى الزيت فى الفراغ الحلقى. يجب معرفة أنه يجب توفير التدوير الحقيقى وليس فقط بناء السائل فى الفراغ الحلقى.

المعالجة المستمرة :

المعالجة المستمرة تشمل التغذية بالمثبط باستمرار بحيث أن يكون تركيزه فى السوائل العدوانية يظل عند المستوى الكافى لمنع أو تقليل التآكل بشكل كبير. هذا التركيز قد يختلف من بضعة أجزاء فى المليون إلى خمسين أو أكثر، طبقاً لشدة العدوانية.

آبار الضخ يمكن معالجتها باستمرار أسفل الثقب بضخ المثبط فى خط الذى يوف التمرير الجانبى (By passes) لجزء صغير من المنتج ثانياً إلى الفراغ الحلقى. يتم ذلك عادة بالجمع بين مثبطات تآكل الترسيبات ذلك لأن مثبطات الترسيبات (Scale inhibitors) عادة يجب أن تستخدم على أساس مستمر. طرف القوة المحركة (Power End) للطلمبات

الهيدروليكية الغاطسة يمكن أن يعالج باستمرار بحقن المثبط فى زيت الطاقة (Power oil). يجب الحرص فى اختيار المثبط الذى لا يسبب ترسيب قاذورات (Foul) على أسطوانة الطاقة. الفراغ الحلقى المفتوح ضرورى لمعالجة طرف الطلمبة أو أن تستخدم المعالجة بالكبس.

الآبار المجهزة بأعمدة المواسير ذات المركز الواحد (Cocentric) أو مع عامود مواسير مختلط يمكن معالجتها باستمرار بالحقن أسفل أحد أعمدة المواسير. يمكن إنشاء محابس الحقن أسفل الثقب للبئر (Down hole) قرب قاع عامود المواسير.

عند تجهيز البئر بعامود مواسير واحد وعازلة الإنتاج (Packer) ، أحياناً يتم تركيز محبس حقن قرب قاع عامود المواسير. هذا المحبس السفلى يجهز ليفتح عند وصول ضغط الفراغ الحلقى قيمة معينة. يتم ملئ الفراغ الحلقى بالمثبط. خليط المخفف، ثم يتم الضخ المستمر للخليط إلى الفراغ الحلقى الممتلئ ، حيث يحدث البناء الكافى للضغط لفتح المحبس أسفل الثقب (Down hole Valve) . البئر حيث الرفع بالغاز يمكن معالجته مستمراً بترزيز المثبط فى غاز رفع الغاز.

المعالجة بالكبس : Squeeze Treatment

المعالجة بكبس مثبط التآكل تشمل وضع محلول المثبط فى التربة الحاملة للإنتاج (Producing Formation). مميزاتها الرئيسية هى أنه يمكن استخدامها فى إطار غير أنبوبى (Tubing Less) ، وكذلك خفض مرات المعالجة. وهى يمكن أن تكون مؤثرة لمدة 3 إلى 18 شهراً طبقاً للمثبط والتربة وتقنيات وضع المثبط، والسوائل الجارى إنتاجها. فى المعالجة بالكبس يتم خلط حجم كبير نسبياً من المثبط (1 – 4 برميل) فى مخفف متوافق (10 – 20% مثبط). يتم إزاحة الخليط إلى أسفل المواسير ثم إلى التربة. كمية سائل الإزاحة هى تقريباً 25 – 75 برميل زائد حجم المواسير. عند عودة البئر للإنتاج بعد الكبس فإن التركيز الأولى للمادة الكيماوية فى السوائل العائدة يكون مرتفعاً، مع انخفاض سريع نسبياً فى التركيز مع الإنتاج. وبذا تتكون طبقة حماية على أسطح المعدن أثناء عملية الكبس وخلال الفترة القصيرة حيث التركيز الكيماوى للسائل العائد يكون مرتفعاً.

استمرار عودة المادة الكيماوية بتركيز منخفض يصلح من طبقة الحماية التى تكونت أصلا. وعندما يصبح المثبط العائد لا يمكنه الإصلاح لطبقة الحماية بنفس السرعة التى تتم بها إزالتها فإن تأثير المعالجة ينخفض.

المتغيرات التى تؤثر على كفاءة تأثيرات التربة والمعالجة سيتم مناقشتهم وهى:

خواص الادمصاص وعدم الادمصاص :

من الناحية العملية كل أنواع مواد التربة ستمتص مختلف المثبطات المكبوسة إلى حد ما. إمكانيات الادمصاص للطفلة تكون عدة مئات أكثر من طاقة الرمل أو الحجر الجيرى. الادمصاص فى الرمل أو فى الحجر الجيرى يكون عكسياً. كثيراً من المثبط الممتز بالطفلة يكون مرتبط بقوة ولا يحتمل أن يتم التخلص من ادمصاصه. ولكن، الطفلة التى تمتز مثل هذه الكمية الكبيرة من المثبط بحيث أن الجزء الذى يتم التخلص من ادمصاصة (Desorbs) يظل يوفر حماية من التآكل كافية. أثناء التخلص من الادمصاص فإن تركيز المثبط فى السائل المنتج يسقط بسرعة إلى عدد قليل من مئات الجزء فى المليون ثم عندئذ يستمر المثبط فى أن تميز عند تركيزات منخفضة لمعدة

مئات من حجم الفراغ للهيدروكربون المنتج. بسبب الادمصاص العكسى فإن جزء فقط من المثبط الممتز أصلاِ يتم التخلص من ادمصاصه (Desorbed) . من الواضح، أنه سيتم استخدام مثبط أكثر عند الكبس الأولى (2 إلى 4 برميل).

تأثير النفاذية :

نادراً ما يحدث خفض واضح فى النفاذية بفعل مثبط التآكل على أسطح الرمال، ولكن: الطفلة الموجودة فى كثير من الحالات تكون عادة حساسة للمثبطات حيث يمكن أن تتفتح أو تتشتت عند الالتصاق بالمثبط. النفاذية الناتجة تختلف كثيراً، رغم أن معظمها يكون مهمل. فى المناطق حيث عرف حدوث تلف للتربة أو أنه عرف وجود طفلة حساسة أو يشك فى وجودها، فإنه يتم أخذ عينة من التربة (Core Sample) واختيار المثبط الذى لا يسبب التلف.

يمكن استخدام اختبار بسيط لتعيين درجة استعداد الطفلة للانتفاخ لمختلف المثبطـــات. يتم خلط 10% من المثبط إلى مركب يسمى (Mentor – 28) (وهو اسم تجارى لمركـــب فى ولاية تكساس) ويضاف إلى 100 سم^3 من المخبار المدرج المحتوى علـــى 10 ســـم^3 (6.5 إلى 7 جرام) من مادة (Sodium Montmorillonite) يتم زيـــادة المســـتوى إلـــى 100سم^3 طفلة. يتم عندئذ تسجيل حجم الطفلة عند 5 ثوان، واحد ساعة، 4 ســـاعة، 24 ساعة.

استعدادات تكوين المستحلب : Emulsion Forming Tendencies

عدم الاختيار الصحيح لمثبط الكبس يمكن أن يكون مستحلب فى التربة ويعمل علـــى انسداد والحد من الإنتاج من البئر. الاختيار الأولى للمثبط يجب أن يبنى على الاختيارات باستخدام سوائل التربة من البئر بالالتصاق بمختلف المثبطات. خواص تكون المســـتحلب للمثبطات التآكل مع تقنيات الاختبار تم مناقشتها.

كبس المثبط بالترزيز Atomized inhibitor squeeze :

أحياناً يتم كبس آبار الغاز بترزيز المثبط فى الغاز (عادة النيتروجين) ثم إزالة خليط الترزيز نحو التربة بغاز إضافى. تستخدم هذه التقنية فـــى آبـــار الغـــاز ذات الضـــغط المنخفض والتى يمكن أن تموت فى حالة حمل المواسير بالسائل. وهى تســـتخدم كـــذلك عندما يكون المطلوب ليس زيادة تشبع السائل فى فتحة البئر، بما يسبب خفض النفاذيـــة للغاز.

السوائل المثقلة : Weighted Liquids

السوائل المثقلة من مثبطات التآكل (10 إلى 12 رطل للجالون) زاد استخدامها فـــى حقول البترول. نظرياً، هذه المثبطات تسقط خلال سوائل البئر نحو قاع البئر المطلـــوب معالجته، وبذا يتم تجنب تقنيات التغذية الأخرى مثـــل المواســـير (Tubing) أو الإزاحـــة الحلقية. ولكن توجد عدة عوامل تؤثر على استخدام المثبطات المثقلة.

المثبطات المثقلة بكلوريد الزنك سوف تكون سلفيد الزنـــك عنـــد التعـــرض لســـلفيد الهيدروجين ولا يتم استخدامها فى النظم الحامضية المحتوية على كبريتيد الهيـــدروجين.

سلفيد الزنك عبارة عن مثبت للمستحلب ، والمستحلبات الناتجة عن وجوده عادة يكون من الصعب أو من المستحيل تكسيرها. المثبطات المثقلة بمواد عضوية ثقيلة يتم استخدامها فى الآبار الحامضية. يوجد تقسمين رئيسيين للمثبطات المثقلة وهى سريعة التحـــرر وبطيئـــة التحرر. بعض المثبطات تتحرر فى الحال عند التعرض للماء. مثبطات أخرى تغـــوص خلال طبقة الماء وتغذى المثبط ببطء ثانياً. زيادة درجة الحرارة أو المحتوى من الأملاح للمياه المالحة يسرع انطلاق المادة الكيماوية. بالنسبة لآبار التدفق (المزودة عادة بعوازل الإنتاج) ومعظم آبار رفع الغاز، يمكن وضع المثبط على مراحل فى المواسير نظراً لأن الماء مطلوب لإطلاق المثبط فإن المثبطات المثقلة سيكون لها استخدام محدود فـــى آبـــار الغاز الجاف. المثبطات سريعة الانطلاق سوف لا ترسب خلال طبقة الماء وعادة لا يـــتم تغذيتها مرحلياً خلال المواسير.

آبار الضخ عادة يتم عالجتها بدفعات أسفل الفراغ الحلقى. إذا كان المطلوب وضـــع المثبط فى جحر الفأر (Rothole) فإنه يجب إيقاف البئر. ذلك يكون ضـــرورى إذا كـــان المطلوب تردد معالجة منخفض. ولكن ، إنه يمكن استمرار الإنتاج إذا عولجت الآبار على أساس من آن لآخر وأن الطلمبة تكون فى قاع فتحة البئر– الطلمبة توفر التقليب الكـــافى والقص لتحرير المثبط. يجب تذكرة أنه فى حالة استخدام تلك التقنية، فإن المثبط سوف لا يكون متاحاً للحماية لأى معدن أسفل الطلمبة.

المثبطات سريعة التحرر سوف لا تحقق الأداء الجيد فى الآبار ذات منسوب عـــالى للسائل فى الفراغ الحلقى ذلك لأن كثيراً من تلك المثبطات كذلك تبدى بعض الرغبة فى التحرر فى مجال الزيت.

المثبط المثقل لا يتم تخفيفه قبل الاستخدام. يجب مراعاة الإحساس والذوق العام عنـــد تصميم استخدام المثبط المثقل. يجب معرفة أن الوزن يتم توفيره فقط للمساعدة فى وضع المثبط فى القاع.

الكبسولات : Capsules

بعض المثبطات يمكن وضعها فى كبسولة ذات غلاف ثقل قابل للذوبان فـــى المـــاء والذى يذوب ببطء عند درجة الحرارة المحددة لتحرير المثبط. هذه المثبطات يمكن ضخها

مباشرة فى المواسير أو فى الفراغ الحلقى للبئر. وهى ستسقط نحو القاع بسبب وزنها. يلزم وجود بعض حفر الفأر (Rothole) لزيادة كفاءة المثبط. يتم توفير وقت كافى للإيقاف (عادة خلال الليل) ليمكن للكبسولات أن تصل إلى قاع البئر. الكبسولات عندئذ سوف تذوب، مع استمرار إطلاق كميات صغيرة من المثبط خلال فترة زمنية طويلة نسبياً.

القضبان : Sticks

بعض المثبطات يتم تسويقها فى شكل عصى أو قضبان. هذه القضبان عندما توضع فى البئر خلال تجهيزه تزليج ستغوض نحو القاع، وتذوب ببطء وتعود ثانياً يكون من الضرورى بعض من حفر الفأر فى معظم الحالات لمنع القضيب من العودة ثانياً مع سوائل البئر.

نظم حقن المياه : Water injection systems

نظم حقن المياه سواء كانت لصرف المياه أو لعمليات فيض المياه (Water flood operations) عادة يحدث لها تآكل بفعل الماء. يمكن التحكم فى هذا التآكل أحياناً باستمرار المعالجة بمثبط التآكل. بحيث توفر سطح نظيف على الخطوط ليمكن للمثبط أن يعمل. لذلك فإن العملية تشمل كاشطة أو كتلة معدنية حاكة والبذق المستمر بالمثبط (يليه الحقن المستمر حتى الدورة الثانية) عادة يليه للحصول على المعالجة المؤثرة خلال فترة زمنية طويلة. فى الماضى كان المستخدم عادة المثبطات المذابة فى الماء لهذا الغرض. حالياً تجمع استخدام المثبطات المنتشرة(Dispersible) . ضغط الحقن يجب ملاحظته حيث أن أى زيادة فى الضغط يمكن أن تبين أن المثبط المنتشر قد تم ترسيبه على وجه التربة بما يقلل من النفاذية. كذلك فإن الكيماويات المنتشرة يتم إزالتها جزئياً بالمرشحات المستخدمة فى عمليات الفيض المائى وصرف المياه.

طريقة اختبار استحلاب المثبط:

1. ضع 100 سم^3 من السائل الكلى مع النسبة المطلوبة من ماء الحقن والزيت فى كل من الإنائين 6 أوقية (طبقاً للمواصفات).

2. أضف 1سم^3 من المثبط لأحد الإنائين. والإناء الأخر يعمل كمقياس.

3. رج كلا الإنائين يدوياً. 50 مرة تقريباً، ضع جانباً، ولاحظ السرعة التى ينكسر بها المستحلب الناتج.

4. ضع محتويات كل من الإنائين فى خلاط واخلط بسرعة عالية لمدة 30 ثانية، لاحظ الوقت اللازم لتكسر المستحلبات الناتجة.

يتم ملاحظة نظافة الماء المنتج والزيت ومظهر سطح التلاقى. هذه الطريقة يمكن أن تتغير طبقاً للظروف الحقلية المعينة وتقنية استخدام المثبط، فى كثير من الحالات تعتيق سوائل البئر سوف يؤثر على خواص تكوين المستحلب.

5. نقاء السوائل الحقلية. عند استخدام السوائل الحقلية، يمكن إمساكهم وحجزهم فى أوعية بلاستيك. السوائل المخزنة لمدة أكثر من 2 – 3 شهر يتم التخلص منها.

يجب الحرص نحو تأكيد أن السوائل الحقلية المأخوذة لم يتم معالجتها.

قطعة الاختبار : Test speciment

1- الوصف :

قضيب حفر يقطر 16/3 بوصة مقطوع بالطول الذى يكون خابور (Pinned) عند وضع الغطاء على الوعاء، يستخدم مع أوانى الصودا. كذلك يمكن استخدام 1×3 بوصة عينة اختبار من الصلب المدرفل على البارد 1018 أو 1020 (كذلك يمكن استخدام الصلب عالى القوة) بقطر 1.5 بوصة للفتحة فى نهاية واحدة تستخدم مع أوانى مربعة 8 أوقية. يتم تعليق عينة الاختبار فى المكان فى الإناء بوضع قضيب من البولى بروبيلين أو النيلون خلال الفتحة فى عينة الاختبار.

2- التعرف على عينة الاختبار:

فى حالة استخدام عينات اختبار 1× 3 بوصة يمكن لصق علامات تميز على العينة قبل تحضير السطح. يمكن ترقيم أوانى الاختبار مثل العينات التى تحتويها لتبسيط الاختبار. عند استخدام قضبان حفر 16/3 بوصة فإنه يجب أن تظل منفصلة عن بعضها وذلك بوضعهم فى أوعية مرقمة.

3- تحضير السطح :

أ- تستخدم فقط عينات الاختبار الخالية من الثقوب والشروخ العميقة. لا يتم استخدام عينات اختبار التى بان عليها التآكل. تآكل العينة فى التخزين يمكن منعه بحفظها مغمورة فى كيروسين غير مستقطب. لا يتم تداول أو حتى لمس العينات باليد العارية. استخدام قفازات أو تجهيزات ميكانيكية.

ب- يتم تنظيف عينة الاختبار بالإكزايين (Xylene) وصوف الصلب.

جـ- نظف بـ (Isopropyl Alcohol) وصوف الصلب.

د- نظف بالصابون والماء وصوف الصلب.

هـ- اشطف فى أيزوبروبيل الكحول.

و- أشطف فى الأسيتون.

ز- جفف فى فرن عند 65 °م.

ح - ضع فى مجفف (Desicator) لحين الوصول إلى درجة حرارة الغرفة.

ط- أوزن فى ميزان حساس إلى 1/ 10 ميليجرام وسجل الوزن.

عدد الفحوصات والاختبارات :

لا يقل عن اثنين اختبار يتم استخدامهم عند كل تركيز. أوانى الفحص (بياضة - Blanks) يتم استخدامها فى زوج أو ثلاث (Duplicate or triplicate). يمكن استخدام عدة كيماويات فى نفس الوقت بمجموعة واحدة من الرصد.

تركيز المواد المطلوب اختبارها :

الغرض من الاختبار هو لمقارنة المواد عند تركيزات مكافئة متعلقة بالثمن. اختبار التركيزات للمواد ذات السعر الأكثر أو الأقل عن القياسى يتم بالآتى:

اختيار التركيز جزء فى المليون =

$$\text{التركيز القياسى. (جزء فى المليون)} \times \frac{\text{الثمن القياسى للمثبط}}{\text{ثمن اختبار المثبط}}$$

إذا كان ثمن مادة الاختبار غير معلوم، يمكن تقديره لأقرب ما يمكن.

الخطـــــوات :

1. أعد على منضدة العمل العدد المناسب من القنينات والأغطية (اثنين لكل مـــادة يـــتم اختبارها + 2 أو 3 للرصد).
2. ادفع إلى الخارج الهواء من كل قنينه بإدخال النيتروجين (الاختبـــارات مـــن نـــوع كبريتيد الهيدروجين) أو ثانى أكسيد الكربون (الاختبارات من نـــوع ثـــانى أكســـيد الكربون) فى أنبوبة التوصيل مؤدية إلى قاع القنينة.
3. أدخل الكمية المطلوبة من كبريتيد الهيدروجين المعد إلى قاع كل قنينة خلال أنبوبـــة التوصيل.
4. أدخل الكمية المطلوبة من الماء المالح فى كل قنينة خلال أنبوبـــة التوصـــيل أســـفل الهيدروكربون. هذه الإضافة يجب أن تتم ببطء لتجنب الطرطشة.
5. أدخل الكمية المناسبة من المثبط مباشرة فى القنينة. أى طريقة توفر إضافة الكميـــة المطلوبة من المادة بدون إدخال مذيبات غريبة، عوامل إزدواج .. الـــخ يمكـــن أن تستخدم لعمل 1% محلول والذى يمكن بعد ذلك سحبه بالسحاحة إلى القنينات.
6. ضع عينة الاختبار أو قضيب الحفر فى القنينة ثم أغلق القنينة بالغطاء. إذا كان يجب طرد الأكسجين، فإنه سيكون من الضرورى استمرار طبقة من الغاز فوق الســـوائل فى كل الأوقات حتى الغلق.
7. بمجرد غلق القنينات ضعهم على عجلة الاختبار وأبدأ الاختبار. ثبت درجة الحرارة طبقاً للمطلوب.
8. إذا كان الاختبار من نوع التركيز الثابت، استخدم للفترة الزمنية المطلوب (عادة 24، 48 أو 72 ساعة).
9. إذا كان الاختبار من نوع الطبقة المستمرة، استخدم لمدة ساعة لتثبيط عينة الاختبـــار بالطبقة. إنزع عينات الاختبار وضع نظام ثالث مشابه للنظام الثانى. أثناء أى تغيير لعينات الاختبار فإنه يجب إتباع الاحتياطات إبعاد الأكسجين. استخدم الاختبار الثالث

للقنينات لمدة 24 ساعة. إذا كان المطلوب اختبار أطول، فإن السوائل طبيعياً يتم تغيرها كل 24 ساعة.

10. إرفع العينات، يتم النقع لمدة 10 – 20 دقيقة فى حامض هيدروكلوريك مثبط.

الحسابات :

بفرض C = متوسط الفقد فى الوزن لعينة الرصد.

T = متوسط الفقد فى الوزن لعينات الاختبار لكل تركيز لكل مادة كيماوية.

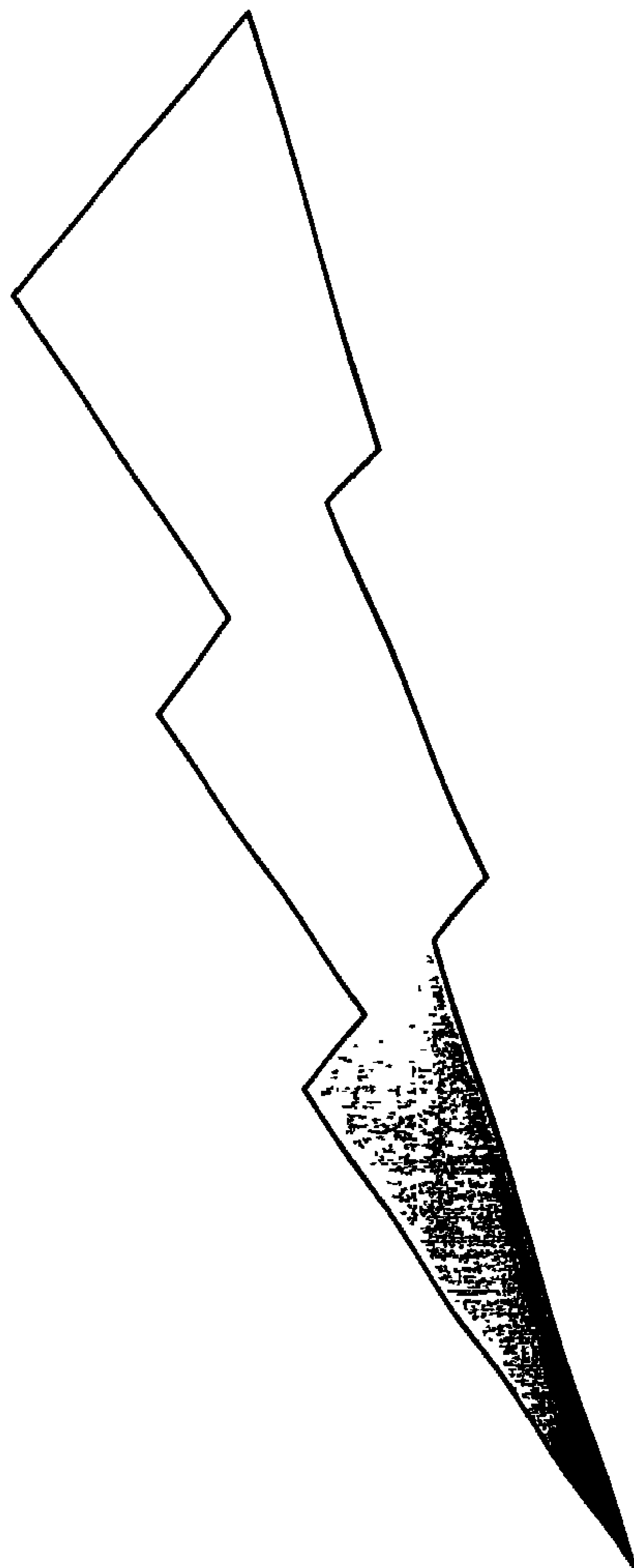
نسبة التثبيط المئوية % = 100 × $\frac{100}{\quad}$

إجمالى التغيرات فى وزن العينة لا تكون ذات معنى أو دلالة إذا كان أبعاد العينة خلال التجاوزات العادية.

تحليل النتائج :

يمكن المقارنة المباشرة بنسبة التثبيط بين مادتين أو ثلاثة. بالنسبة لاختبارات التركيز الثابت فإن الحماية لأقل من 70% لا يمكن استعادها عموماً. من 70% إلى 90% حماية ستكون من الممكن استعادتها ± 2%.

نتائج اختبارات استدامة الطبقة تشبه لما سبق عدا أن الحماية فى المجال من 40% إلى 70% عادة يمكن استعادته ± 5%. النتائج لتلك الاختبارات تكون نسبية لاختبار معين وأرقام الحماية بين اختبارين لا يمكن مقارنتها مباشرة. وهذا يرجع إلى تغير خفيف فى المتغيرات المستخدمة فى هذا النوع من الاختبار. يمكن كذلك اختبار العينات للكشف عن وجود الثقوب.



الفصـل السـابع

التغطية ، التبطين ، المواسير الغير معدنية

- التغطية والتبطين : Coatings and Linings

أ- التغطية لمقاومة التآكل : Coating for corrosion control

التغطية هى مادة رقيقة جداً تستخدم فى شكل سائل أو مسحوق والتى عند التجمد تكون ملتصقة جيداً ومستمرة على المنشأ المطلوب حمايته والتى تمنع الالتصاق بين المنشأ والبيئة الملاصقة. قد تستخدم التغطية لجمال الشكل، منع التآكل، التغطية لمنع التآكل تختلف عن البويات لتوفير جمال الشكل، وإن كانت مواد التغطية للحماية من التآكل يمكن أن تسبب الشكل الجمالى.

للحماية من التآكل لفترة زمنية، يكون من الضرورى أن تكون لطبقة التغطية المرونة والمقاومة ضد الصدمات، المقاومة الكيماوية ضد المجال البيئى الملاصق المعرضة له ، مقاومة النفاذية للرطوبة ، وكذلك الالتصاق الجيد والتماسك الجيد، وكذلك مقاومة درجة الحرارة التى تتعرض لها. يتم اختيار مادة التغطية مع مراعاة العامل الاقتصادى.

تقسيم مواد التغطية : Classification of Coatings

يمكن تقسيم مواد التغطية طبقاً لسمك طبقة التغطية الجافة، التركيب الكيماوى، أو التركيب الكيماوى والطبيعى.

سمك طبقة التغطية الجافة:

طبقة التغطية الرقيقة لها أقصى سمك جاف من 5 إلى 8 مليمتر. ولكن طبقة التغطية السميكة تكون بسمك 12 إلى 20 مليمتر أو أكثر.

يتحدد أقصى سمك للطبقة الجافة الرقيقة طبقاً لاحتمالات تشقق طبقة التغطية فى حالة زيادة السمك ومع التغير فى درجات الحرارة والاجهادات التى تتعرض لها المعدة التى تم حمايتها بطبقة التغطية ، هذا بالإضافة إلى العامل الاقتصادى.

التركيب الكيماوى: Chemical Composition

مواد التغطية يمكن أن تكون عضوية أو غير عضوية. سوائل حمل الدهان (Vehicles) لمعظم مواد التغطية الغير عضوية لها تركيب جزيئى مبنى على السيليكون واحتمال عناصر أخرى. مواد الصبغات يمكن أن تخلط مع سائل حمل الدهان.

مواد التغطية العضوية : Organic coatings

مواد التغطية العضوية المستخدمة لحماية معدات تداول الزيت والغاز هي طلاء الأسفلت، طلاء الكولتار ، الإيبوكسيات والفينولات ومشتقاتها ، والبولى يوريثين ، البولى إيستررز ، المطاط المكلور والبولى فينيل كلورايد (PVC). الحماية الخارجية لخطوط المواسير تستخدم عادة أشرطة للصق (Adhesive tapes) المصنوعة من البولى إيثيلين أو أى مادة تغطية أخرى . للاستخدمات الخاصة فإنه يستخدم الفلوروكربونات (Flourocarbons) مثل التيفلون (Teflon) ، الفينيلين سلفيد (Phenylene Sulfide) (مثل الريون Ryton) ، كما تستخدم مواد كثيرة أخرى. الاستخدام الجيد لكل نوع من المادة هو من الفنون التى يمكن اكتسابها بدراسة خواص المادة وبالمحاولة والخطأ – طلاءات الأسفلت والكولتار تستخدم عادة لحماية الأسطح الخارجية للمنشآت المعدنية المدفونة مثل خطوط المواسير أو لقاع السفلى للخزانات المعدنية. لأن طلاء الأسفلت قابل للإذابة فى الهيدروكربونات، فإنه يجب أن يستخدم فى التربة المشبعة بالزيت. إيبوكسيات الكولتار، الإيبوكسيات، الفينولات ، البولى بوريثين (Polyurethanes) ، البولى إيسترز، البولى فيثيل كلوريد (PVC's) هذه المواد تستخدم عادة للبطانة الداخلية، كما أنه يمكن كذلك أن تستخدم على الأسطح الخارجية، بما فيها خطوط المواسير المدفونة. الطلاءات الخارجية PVC غير مناسبة فى وجود الهيدروكربونات السائلة ، رغم أنها تتحمل المياه المحتوية على زبد من الزيت ، وذلك طالما أن الزيت لا يمكن تجميعه فى مجال مستمر.

الفينولات ، الإيبوكسيات ، البولى يوريثينات تكون عادة محدودة بسمك 8 مليمتر فى حالة الجفاف وذلك لحدوث القصافة (الهشاشة) فى حالة زيادة السمك لطبقة الطلاء، ولكن أدنى سمك لا يقل عن 5 مليمتر.

تستخدم أحياناً الطلاءات المسلحة بالصوف الزجاجي أو شعيرات الأسبتوس أو الصفائح الزجاجية وذلك لتوفير زيادة فى سمك طبقة التغطية بالإضافة إلى توفير قوة إضافية ومقاومة للاحتكاك. عادة تستخدم راتنجات الإيبوكسى والبولى ايستر فى نظم التسليح الزجاجى ، وإن كانت البلاستيكات الأخرى يمكن أن تستخدم.

مواد التغطية الغير عضوية : Inorganic Coatings

مواد التغطية الغير عضوية تشمل كلاً من مواد التغطية الضحية (Sacrificial) التي توفر الحماية الكاثودية عند الثقوب والتلفيات الصغيرة فى طبقة التغطية، مواد التغطية الغير ضحية والتى توفر فقط الحماية للسطح المغطى.

الطلاءات الضحية تشمل الجلفنة أو التغطية بمعدن آخر آنودى بالنسبة لمعدن الأساس وعوالق ثقيلة (Heavy suspensions) من جسيمات الزنك فى سائل الحمل من السليكات أو المواد العضوية. نظراً لأن سائل الحمل (Vehicle) العضوى الغير موصل، فإن طلاءات الزنك – العضوية يكون تأثيرها أقل فى حماية المعدن عند الثقوب والتلفيات فى طبقة الطلاء من طلاءات الزنك – السيليكات أو الجلفنة. الرقم الهيدروجينى (pH) للمجال الملاصق هام. حيث المجال الملاصق شديد القلوية أو شديد الحموضة سيعمل على الإزالة السريعة للطلاءات الآنودية.

طلاءات الزنك أو البطانة من طلاءات الزنك يجب عدم استخدامها فى حالة الغمر فى درجات الحرارة الأعلى من العادية ، ذلك إلا فى حالة أن الاختبارات أظهرت صلاحية الزنك . الزنك يعمل على تغيير الاستقطاب (Reverse Polarity) مع الصلب عند درجات الحرارة المرتفعة فى كثير من الاليكتروليت (Electrolytes) حيث يصبح عدوانى بالنسبة للصلب.

التغطية الغير عضوية والغير ضحيه أى التى لا تتآكل تشمل التغطية بمعدن كاثودى بالنسبة لمعدن الأساس، مثل النيكل ، وكذلك التغطية بمواد غير عضوية أخرى مثل السيراميك. بالنسبة لأى طبقة تغطية كاثودية لتحقق الحماية، فإنها يجب أن تكون سميكة وذلك لتوفير غطاء للمعدن بدون أى نفاذية ما بين السطح والأساس. يمكن استخدام النيكل بالترسيب الكهربى، أو بالطرق الكيماوية الغير كهربية. يمكن كذلك عمل التغطية المعدنية برش المعدن (Metallizing spray).

ولكن نظراً لأنه من المستحيل تقريباً الحصول على طبقة تغطية غير مسامية برش المعدن ، فإن هذه الطريقة لها استخدام محدود فى الحماية من التآكل.

الطلاءات السيراميك (Ceramic coatings) عند استخدامها بطريقة جيدة فإنها مؤثرة فى الحماية من التآكل ولكن بسبب التكلفة العالية والهشاشة فإن استخدامها أصبح محدوداً فقط للمعدات الصغيرة. لقد ثبت نجاح السيراميك فى تبطين المواسير بقطر 2" ومقاومة التآكل حيث كان حاملة للمياه المالحة المحتوية على كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون لمدة ثلاث سنوات. طرق التوصيل تشمل الحام ، القلوظة. قبل التبطين بمادة السيراميك تم لحام سبيكة النيكل القصيرة (Iconel) عند كل وصلة، ذلك لتأكيد أن أى تلف للبطانة سيحدث فقط على معدن مقاوم للتآكل.

طرق أخرى : Other systems

من بين الطرق الأخرى والتى ليست تغطية بالمعنى الصحيح وهذه تشمل الأسمنت البورتلاندى ومواد البلاستك. لقد استخدمت الخلطة الأسمنتية من الأسمنت البروتلاندى والرمل للحماية الداخلية والخارجية للمواسير. التغطية وكذلك استخدام الشرائط الخارجية أفضل من الناحية الاقتصادية ، ولكن عندما يكون الوزن ضرورى

فإنه يفضل التغطية بالأسمنت. التبطين بالمونه الأسمنتية لبعض الأوعية مثل المرشحات (Filters) مناسب. فى حالة الخزانات فإن التبطين بالمونة الأسمنتية يستخدم عادة للأرضيات.

لقد استخدمت المواسير المبطنة بالمونة الأسمنتية فى صرف المياه المالحة المحتوية على كبريتيد الهيدروجين لمدة 20 عام. التبطين بالمونة الأسمنتية يكون ناجحاً عند استخدام عمليات المراجعة والتفتيش أثناء التبطين والتداول والإنشاء للمواسير المبطنة. معظم التبطين بالمونة الأسمنتية يحدث له عدوانية بفعل الماء عند رقم هيدروجينى 5 فأقل، ويتلف تماماً بفعل الحامض. كما توجد بعض الشواهد أنه يمكن أن يتلف ببعض أنواع مثبطات الأمينات فى محلول الماء.

التبطين بمواد البلاستيك ثبت تأثيره فى الحماية الداخلية للمواسير وخط المواسير. بعض البطانات يتم لحامها فى الوصلات المنفردة للماسورة أو للمواسير،

والبعض الآخر يتم صهرها فى شكل بطانة مستمرة قرب الوصلة خلال كل مقطع الماسورة أو عامود المواسير ، لهذا العمل ، فإن كل نهاية من التبطين تجهز باللحام لمنع دخول السائل خلف البطانة. وكذلك استخدام نظام مشابه حيث البطانات من نهاية إلى نهاية أخرى مستمرة ، بدون انصهار. كذلك استخدمت البطانات البلاستيك الغير مثبتة (Loose) فى خزانات المياه المالحة.

الشرائط البلاستيك أثبتت الأداء الجيد فى الحماية الخارجية لخطوط المواسير المدفونة، جنباً إلى جنب مع الحماية الكاثودية. الغلاف البلاستيك المسحوب على الأنابيب فى المصنع ثبت نجاحه كذلك هذا الغرض.

اختيار مادة التغطية : Coating selection

الخواص الطبيعية التى يجب مراعاتها عند اختيار التغطية لاستخدام معين تشمل سمك طبقة التغطية الجافة، الالتصاق، التماسك ومقاومة درجة الحرارة العالية والمنخفضة وكذلك مقاومة النفاذية للسوائل والغازات. المقاومة الكيماوية المطلوبة تعتمد على المجال الملاصق. نظراً لأن مواد التغطية تختلف فى الخواص وفى التكاليف، فإن الاختيار العملى هو الذى يمثل التسوية.

أهمية اختيار التغطية المناسبة لأداء مهمة معينة فى مجال بيئى معين لا يمكن تأكيده، ذلك لأنه لا توجد طبقة تغطية عالية تناسب كل الظروف. ذلك لأن بعض هذه المواد يمكن أن يكون مقاوم للحامض ولكن مقاومته للمذيبات أو القلويات ضعيفة (مثل الزيت الخام أو الكحول) مع قليل فقط من الخواص الميكانيكية المناسبة. نوع آخر قد يوفر القوة ومقاومة الاحتكاك ولكن مقاومة الحامض تكون ضعيفة. ونوع آخر قد تكون مقاومته الكيماوية محدودة ولكن قوة الالتصاق والمرونة جيدة. نوع آخر يوفر الحماية لمدة 20 عاماً ولكن المنشأ يكون له عمر افتراضى 10 سنوات فقط. لقد اختبرت مواد التغطية بواسطة الصناع والمستخدمين لمئات من المكونات وذلك من أجل الوصول إلى منتج عملى واقتصادى. عند اختبار طبقة التغطية لمشكلة معينة فإنه يكون من الضرورى إختيار

المنتجين والمستخدمين ذوى السمعة والخبرة فى هذا المجال، وإخطارهم بالبيانات المتاحة وظروف التغطية ثم الأخذ بما يتم اقتراحه.

إختيار القائم بتنفيذ التغطية :

التغطية الجيدة تحتوى على ثلاث عوامل (1) مادة تغطية جيدة (2) التنفيذ باستخدام معدة هندسية للأداء الجيد (3) خطة جيدة شاملة مراقبة الجودة. لتأكيد الأداء الجيد يكون من الضرورى اختيار القائم بالتنفيذ الذى لديه القدرة والخبرة نحو إعداد السطح وكذلك طريقة تنفيذ التغطية نحو استخدام مادة معينة بدرجة عالية من الثقة.

اختيار البنود للتغطية : (Selection of Items for coatings)

يتم اختيار البنود ذات الفرصة المقبولة للتغطية بنجاح ذلك لتغطيتها. الأسطح المعدنية ذات البروزات ، الأطراف الحادة، الشقوق (Slivers) ، بقع وطرطشة اللحام ، الجيوب عند اللحامات ، أو الخشونة الزائدة أو الثقوب هذه تتطلب أعمال مسبقة لإعداد السطح قبل وضع طبقة التغطية.

عند إمكان الوصول إلى الأسطح كما فى حالة الخزانات ، فإنه يمكن إصلاح بعض من عيوب هذه الأسطح. ولكن يصعب تنفيذ ذلك داخل المواسير. عند استخدام التغطية من الحماية الكاثودية كما فى حالة الأسطح الخارجية لخطوط المواسير المدفونة والخزانات ، فإنه يمكن التجاوز عن بعض العيوب فى المعدن ذلك لأن الثقوب فى طبقة التغطية يمكن حمايتها بالتيار المستخدم للحماية الكاثودية.

استخدام التغطية فى معدات إنتاج الزيت والغاز :

الخزانات والأوعية الأخرى :

بخلاف المظهر، فإن الحماية الخارجية تكون ضرورية فقط فى ساحل البحر وفى المناطق الصناعية حيث توجد الغازات الحامضية. فى الأجواء الرطبة وخاصة فى المناطق الساحلية فإنه ينصح باستخدام طبقة التغطية التى تكون آنودية بالنسبة للصلب مثل الجلفنة أو سيليكات الزنك (Zin-Silicate) . عادة تتم الحماية الداخلية للأوانى المعدنية

بالتغطية كلما أمكن ذلك لمنع دخول الهواء. عادة أكثر منطقة داخلية حساسة هى السقف والجانب السفلى والأرضية.

الخطوط السطحية والوصلات : Surface Lines and Fittings

الخطوط والوصلات الغير مدفونة عادة لا تحتاج إلى الحماية الخارجية عدا فى حالة المناطق المتاخمة لشاطئ البحر. فى كثير من المناطق يجب حماية الخطوط المدفونة والغاطسة بالتغطية واستخدام شرائط التغطية (Wrapping) وكذلك بالحماية الكاثودية. داخلياً يمكن الحماية بالتبطين بالمواد العضوية أو الأسمنتية أو بالبلاستيك. مواد التغطية للتبطين الداخلى يجب أن تقاوم العوامل الكيماوية وعوامل الاحتكاك للسائل بداخلها. فمثلاً فقد وجد أن 20 جزء فى المليون من مثبط عضوى فى ماء الحقن قد تسبب فى تشقق طبقة البطانة من البلاستيك. ذلك لأن المثبط لكونه له نشاط سطحى ، مركز عن سطح البلاستيك ويكون 100% من السائل المحمول بما يحدث التأثير على البطانة.

عند اختيار التغطية يجب مراعاة الظروف المحتملة مستقبلاً فمثلاً، فى حالة المياه المحتوية على الأكسجين وذات المحتوى القليل من المواد الصلبة فإن الجلفنة يمكن أن توفر الحماية ، ولكن فى حالة استخدام الخطوط فيما بعد لحمل المياه الغير محتوية على الأكسجين والمحتوى على كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون فإن الجلفنة سوف تزال. بعض مواد التغطية العضوية مناسب فقط فى عدم وجود الزيت، يتم استخدام هذه بحذر ذلك لأن معظم مياه حقول البترول يصعب أن تكون خالية من الزيت.

خطوط الهيدروكربون غاز وسائل : Hydrocarbon Iines – Gas and Liquid

خطوط المواسير الحاملة للمواد الهيدروكربونية السائلة أو الغازية يكون لها مشكلة تآكل داخلى فقط فى حالة وجود الماء. عند التبطين الداخلى لهذه الخطوط فإنه تستخدم عادة المواد العضوية للتبطين. فى حالة توصيل الخطوط باللحامات، فإنه تستخدم وصلات لحام من نوع خاص لمنع حدوث التلف للبلاستيك بفعل حرارة اللحام.

التغطية الداخلية لخطوط الغاز التى تعمل عند ضغط أعلا من مائة رطل تستخدم فقط مع معرفة أن الانخفاض السريع فى الضغط قد يسبب فصل طبقة التغطية. الخطوط

الحاملة للزيت ، الغاز والماء ، مثال لذلك الخطوط ما بين الآبار وبطاريات الخزانات (خطوط التدفق) يتم أحياناً تغطيتها الداخلية بالبلاستيك، أحياناً التبطين بالمونة الأسمنتية أو بتوفير تبطين مستمر من البلاستيك بين الوصلات.

خطوط المياه : Water lines

فى خطوط مواسير يمكن تبطينها بالبلاستيك، والأسمنت سواء كانت خطوط الإمداد أو الحقن. حالة المواسير ومكونات الماء وعوامل أخرى بالإضافة إلى الاعتبارات الاقتصادية هى التى تحدد نوع مادة التبطين. فى حالة المواسير الجديدة فإن طبقة التغطية الداخلية الرقيقة تعطى نتائج جيدة. ولكن فى حالة كل من المواسير الجديدة والمواسير المستخدمة حيث توجد الثقوب فإن طبقة البطانة السميكة أثبتت نجاحها. بعض مواد التغطية تتأثر بفعل الزيت أو آثار الكيماويات الأخرى، لذلك فإنه من المهم اختيار مادة التبطين المناسبة. بعض أنواع مواد التغطية العضوية تكون كافية جداً لخدمة نقل المياه. المياه المحتوية على الأكسجين والتى لا تحتوى على كبريتيد الهيدروجين والتى ليست ذات ملوحة عالية يمكن تداولها خلال مواسير مجلفنة أومبطنة بالزنك – سيليكات، كما أن المواسير المبطنة بالمونة الأسمنتية أعطت نتائج ممتازة. ولكن البطانة الأسمنتية يمكن أن تتلف فى حالة انخفاض الرقم الهيدروجينى للماء أو فى حالة تجمد الخط (Freezing) . كما توجد شواهد أن بعض المثبطات يمكن أن يسبب التلف للبطانة الأسمنتية.

البطانات من البلاستك سواء المستمرة أو ذات الوصلة المستقلة ثبت نجاحها كذلك. ولكن التبطين بالبلاستك يحدث له تلف بسبب التغيرات فى درجة الحرارة.

معدة رأس البئر : Wellhead Equipment

فى الأجواء الجافة ، عادة معدة رأس البئر لا تحتاج إلى حماية خارجية. فى الأجواء الرطبة وخاصة الساحلية والبحرية فإنه ينصح بالتغطية بالمواد الآنودية بالنسبة للصلب. للحماية الداخلية لمعدة رأس البئر ذات الضغط العالى ، فإن أفضل الحلول هو بصناعة المعدة من سبيكة مقاومة للتآكل أو باستخدام المثبطات.

معدة أسفل الفتحة (الثقب) : Downhole Equipment

فى حالة الضغط العالى لتدفقات الغاز، والمكثف، أو آبار الزيت وفى آبار رفع الغاز، فإن التبطين الداخلى للمواسير هى الطريقة المناسبة لمقاومة التآكل. يستخدم عادة طبقة رقيقة للتغطية ذلك أن ظروف درجة الحرارة والضغط و/أو مكونات السائل لا تتوافق مع الطبقات السميكة. كإجراء تأكيدى فقد استخدمت بعض الشركات المثبطات جنباً إلى جنب مع مواد التغطية. توجد بعض الخبرة أن الثقوب الصغيرة (Minute Holidays) لا تسبب التآكل ، ولكن الحجم الحدى لتفويتات الدهان هذه المتروكة عرضاً الواجب الوصل إليه قبل حدوث التآكل لم يتم تحديده كما لا توجد طريقة عملية للتعيين الروتينى لحجم هذه الثقوب الصغيرة لتفويتات الدهان. ولكن التغطية المزالة جزئياً قد تعمل على إطالة عمر الماسورة وذلك فى حالة وجود علاقة مناسبة ما بين الكاثود والآنود.

خطوط المواسير فى إمدادات المياه وآبار الحقن تم حمايتها من التآكل بنفس الطرق كما فى حالة خطوط مواسير المياه السطحية، وتتحدد الطريقة طبقاً لكل حالة. فمثلاً ، الطول للمواسير المبطنة بالمونة الأسمنتية يتحدد طبقاً لضغط التشغيل المسموح به فى الماسورة. استخدام المواسير فى مجال خدمة المياه عادة لها سطح داخلى خشن بحيث أن طبقة التغطية الرقيقة لا يمكن استخدامها بدون وجود تفويتات فى الدهان. درجة الحرارة المرتفعة قد تمنع استخدام بعض مواد التغطية.

التغطية لأجزاء جسم عازلة الإنتاج (Packer body parts) أسفل مطاطات وحدة تجميع ضبط التدفق (Pack off rubbers) ، وجد أنه يزداد عمرها فى الآبار العدوانية. قد استخدم كلاً من التغطيات من المواد العضوية والتغطية من محلول ترسيب فوسفات النيكل حيث ثبت فائدتها. السطح الداخلى لعازلة الإنتاج (Packer)، لأنه جزء من عامود المواسير (tubing string) فإنه يتم تغطيته بنفس التغطية للمواسير.

منصات الحفر والإنتاج : Drilling and production ptat forms

فوق منطقة الطرطشة (Splash zone) استخدمت أنواع مختلفة من مواد التغطية العضوية والغير عضوية. مادة التغطية المفضلة هى سيليكات الزنك (Zinc-silicate) ،

هذه التغطية توفر الحماية الكاثودية عند التلفيات الصغيرة في التغطية كما في حالة الجلفنة. في الواقع ، تستخدم كثيراً من الأجزاء الصغيرة جداً المجلفنة على المنصات باستخدام التغطيات الغنية بالزنك. لحسن المظهر ولتوفير حماية إضافية، فإن التغطيات الغنية بالزنك عادة يتم تغطيتها بالمواد العضوية.

نظراً لأن صيانة التغطية فى منطقة الطرطشة تعتبر غير عملية فإنه يعتمد على الصلب السميك أو التغطية بمعدن مقاوم التآكل لحماية المنطقة.

أسفل خط المياه ، فإن من الفضل من الناحية الاقتصادية ترك الصلب عارياً مع الاعتماد على الحماية الكاثودية.

الاستعمال التطبيقى للتغطيات : Application of Coatings

اعتبارات عامة :

الطريقة المناسبة لعمل التغطية تتوقف على نوع مادة التغطية، وظروف الاستخدام واعتبارات اقتصادية. السوائل العضوية يمكن استخدامها بالرش أو بالفرش أو بالرولة. الأجزاء الصغيرة يمكن غمرها. المسحوق العضوى يمكن استخدامه على المعدن الساخن بالرش أو بواسطة عملية الطبقة السائلة (Fluidized bed process) . التغطية المعدنية كما فى حالة الجلفنة يمكن استخدامها بغمر الأجزاء فى المعدن المنصهر، بالترسيب الكهربى ، أو برش المعدن المنصهر على معدن الأساس (Metallizing) . عموماً استخدام طبقة التغطية يتم طبقاً لتوصيات المنتج.

التغطية يمكن أن تتم فى المصنع أو فى الموقع، ولكن التغطية فى المصنع هى الأفضل لتوفر الظروف المناسبة. التغطية الخارجية تتم عادة فى الموقع فوق الحفر لخطوط المواسير. كما يتم كذلك التبطين الداخلى فى الموقع لخطوط المواسير القديمة والجديدة عادة بطلاءات الإيبوكسى مع عامل وسيط (Catalyzed Epoxy coatings) . النظافة والتبطين يتم تنفيذها بدفع مكشطة أسطوانية (Pigs) ومواد أخرى خلال الخط. فتحات الخط كانت بفواصل حتى 20 ميل. استخدم التبطين فى الموقع كذلك للحد من البارافين وزيادة التدفق. كما استخدم كذلك للحماية من التآكل بنجاح قليل، ذلك لأنه لم يكن من الممكن الحصول على سطح نظيف تماماً.

المهمات الأنبوبية : Tubular Goods

إعداد السطح : من الضرورى الإعداد الجيد للسطح. يتم ذلك أما بالتسخين حتى حوالى 400ْم أو بالغمر فى الحامض أو القلوى/ وحمامات الماء، يجب إزالة كل المواد الصلبة المتصلة والممتصة. التسخين أقل احتمالا فى ترك الغازات الممتصة على سطح المعدن عن المعالجة بالحامض.

بعد النظافة الجيدة والتنظيف ، يتم الترميل للسطح حتى الوصول إلى سطح معدنى أبيض لامع. فى حالة التغطية الرقيقة ، فإن أقصى فرق بين الارتفاع والانخفاض يجب أن يكون 2 مليمتر ولا يقل عن واحد مليمتر. الفروق الأكبر ممكنة ولكن فى حالة زيادة سمك طبقة التغطية، وعموماً هذا الفرق يجب إلا يزيد عن ثلث متوسط سمك طبقة التغطية.

تنفيذ التغطية : الأسطح التى تم ترميلها يتم تغطيتها فى نفس يوم العمل وفى الحال بعد الترميل وإزالة كل الأتربة ومواد الحك ، وذلك قبل تكون طبقة الصدأ.

طبقات التغطية ذات السمك الرقيق بالتسخين ، مثل الفينولات الثيرموبلاستك والإيبوكسيات ، يتم تنفيذها على عدة طبقات. لإزالة المذيبات ، وأى ماء أو مكثفات، يستخدم التسخين بدرجة حرارة منخفضة بين كل طبقة. بعد نهاية كل طبقة، فإن التسخين عند درجة حرارة أعلا تكمل المعالجة والإنضاج (Curing) . فى حالة حدوث الإنضاج الزائد فى مرحلة التسخين المتوسط (Intermediate Baking) فإنه يكون الرباط بين الطبقات ضعيف وقد يحدث فقد للترقيق (Delamination) . كما أن عدم الإنضاج الكافى بين الطبقات يسبب فقاعات.

طبقات التغطية السميكة مثل الكولتار إيبوكسى ، البولى إيستر المعالج بالحرارة، الفينيل البلاستيك (Vinyl Plastisols) المعالج بالحرارة، كل هذه تستخدم فى طبقة واحدة أو أكثر من طبقة. وهذه تشمل طبقة البطانة (Prime coat) ، وواحدة أو أكثر من طبقات الضهارة. أفضل استخدام يتحقق عند عدم إضافة المذيب. الإنضاج والمعالجة المناسبة بين الطبقات يعتبر أساسى لتوفير الرباط الجيد بين الطبقات.

التغطيات بالعوامل الوسيطة (Catalyzed Coating) تتضح عند درجة الحرارة العادية أو حتى 82مْ تقريباً. التغطيات التى تعالج بالحرارة يجب تسخينها عند 94 أو 177مْ.

التغطيات التى تلتصق بالانصهار تستخدم بتغطية سطح المعدن عند 205 إلى 232مْ بحبيبات الراتنج التى يحملها الهواء. الراتنج ينصهر ويتراكم حتى السمك المطلوب. وهذه تعرف بعملية الطبقة المسالة (Fluidized Bed Process) . بعد التغطية، فإن إعادة التسخين تسبب تدفق الراتنج معاً واستكمال نضجه. لا تستخدم المذيبات. الراتينجات المستخدمة عادة بطريقة الانصهار والالتصاق هى الإيبوكسيات والبولى إيثر الكلور، كذلك يمكن استخدام كثيراً من الراتيجات الأخرى.

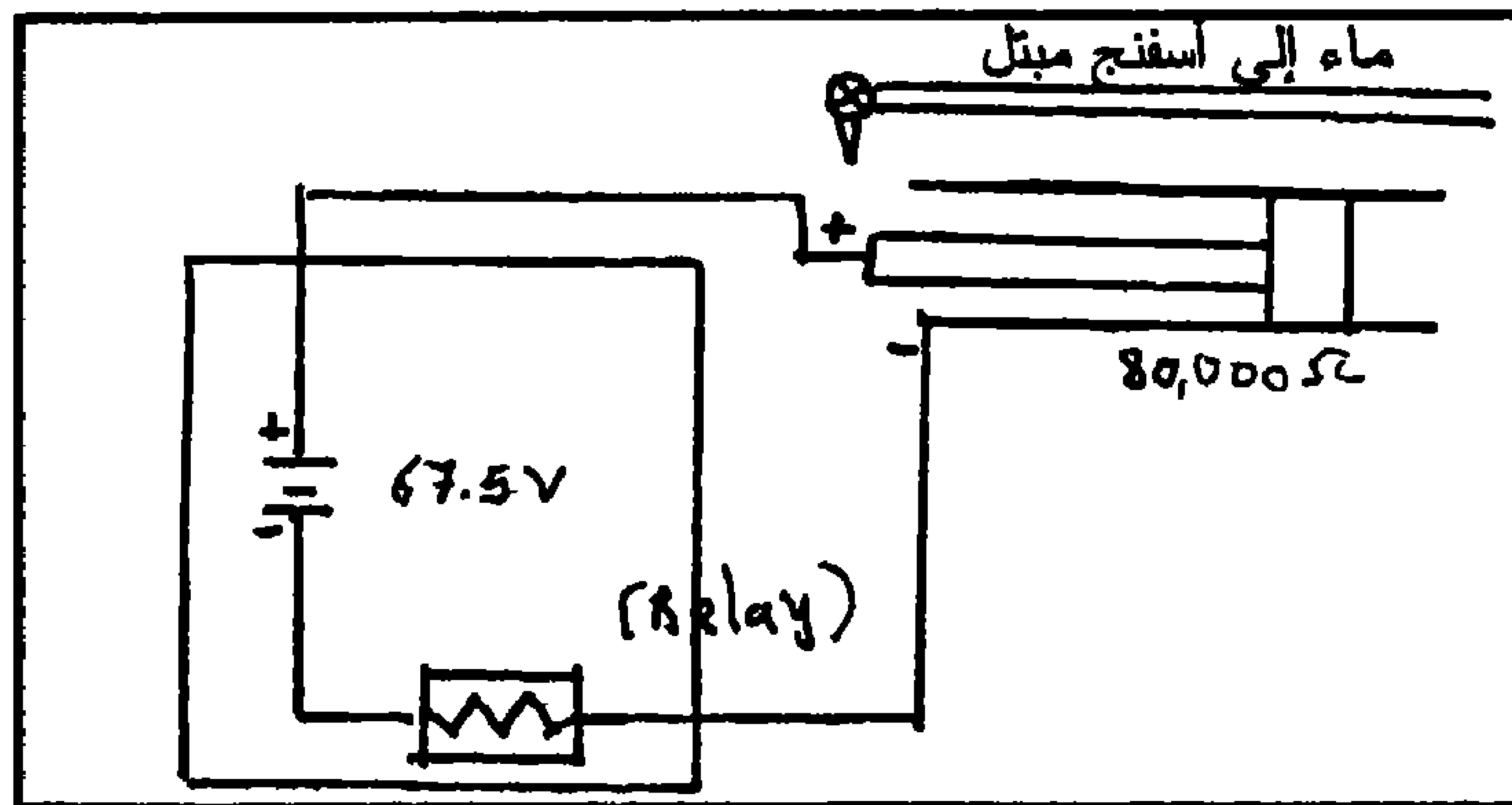
التغطية المنبثقة عن المذيب مثل الفينيل والفيورينات المعدلة (Vinyls and Modified Furanes) ، تقع ضمن تقسيم الطبقة الرقيقة متعددة طبقات التغطية (Multiplecoat thin film) ، والوصول إلى أقصى إنضاج ، فإنه يمكن الإنضاج عند 65مْ أو أقل ، بعد إزالة معظم المذيب. لقد استخدمت بنجاح التغطيات بالإيبوكسى والبولى ايستر المقوى بالصوف الزجاجى للحماية الخارجية للمواسير الموجودة خلال عوازل الإنتاج (Backers) لإنتاج مناطق سفلى ، ولكن التعرض للسوائل العدوانية من المناطق العليا (Upper zones) أنتج ثقوب خلال القيسون. كذلك تم حماية قيسون المحرك الكهربى الغاطس للبئر العميق.

التفتيش : Inspection

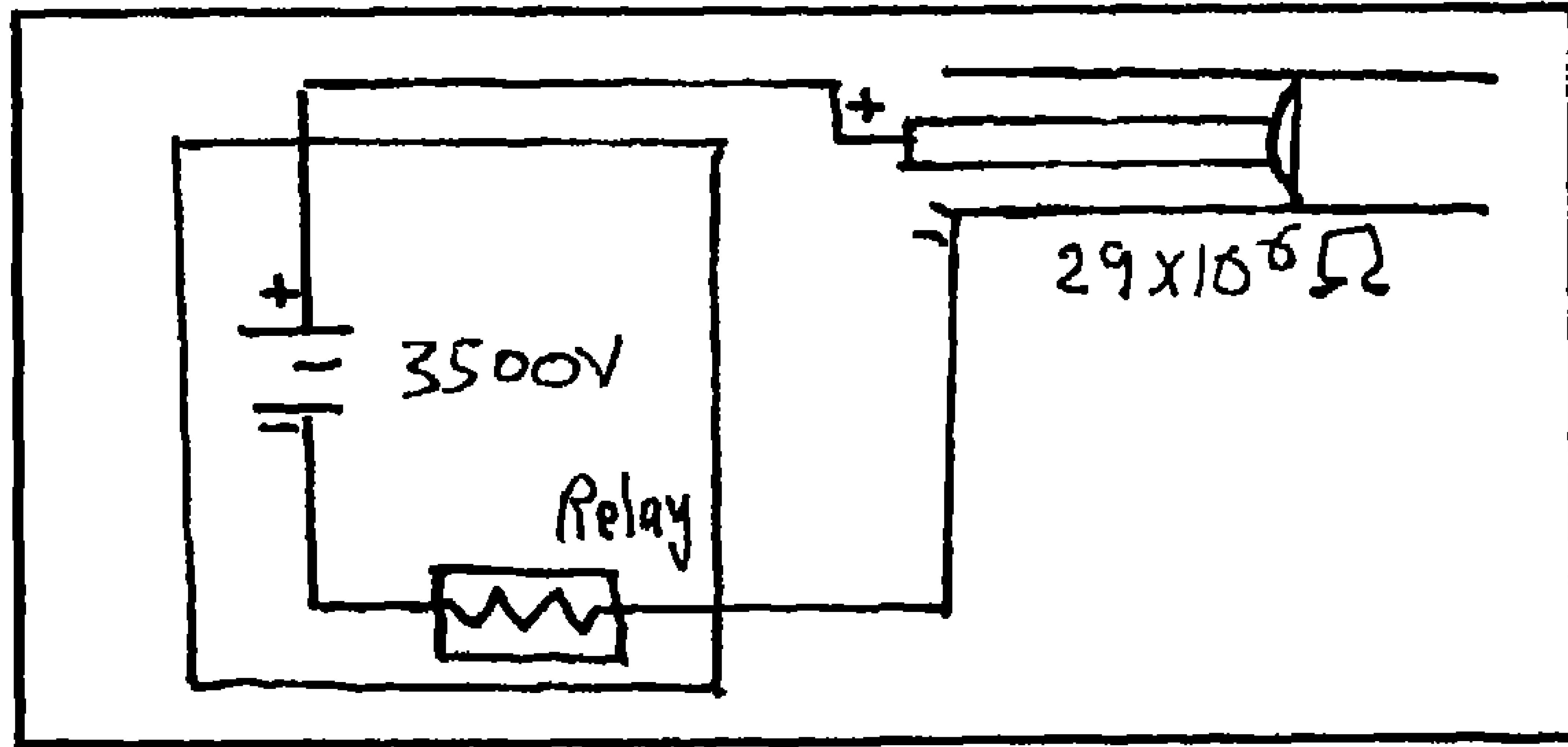
يتم توفير التفتيش خلال عملية التغطية لتأكيد النظافة التامة للأسطح وإعدادها بالترميل وتنظيفها وتجفيفها قبل التغطية. كما يجب مراعاة تجانس استخدام التغطية وأن عمليات التغطية والتداول تؤكد التنفيذ المتجانس والإنضاج للبطانة، الطبقة الوسطى والطبقة النهائية. تتم المراجعة الكافية بعد النضج لتأكيد السمك المناسب للطبقة وذلك باستخدام المقياس المغناطيسى للسمك (Magnetic thickness gauge) . يمكن أخذ عينة ممثلة للواقع المراجعة الالتصاق ، وعدم وجود شرائح (Laminations) وتمام الإنضاج .

إنضـاج بعض التغطيات يمكن مراجعته بدون إتلاف لطبقة التغطية وذلك بالتصـاق الغطاء مع بعض المذيبات.

كذلك تتم مراجعة التغطية بالنسبة لتفويتات الدهان (Pinholes) . فـي حالـة طبقـة التغطية الرقيقة فإنه يستخدم كاشف تفويتات الدهان منخفض الفولت بالرسـابة المهبطيـة الرطبة (Low voltage wet sponge holiday detector) . الشكل (7/1) يوضح دائـرة الجهازه الماء المستخدم فى الرسابه المهبطية الإسفنجية (sponge) يجب أن يحتوى على حوالى 0.5% كلوريد صوديوم والكافى من ماء المنظف لسهولة بلل السـطح المطلـوب تفتيشه . يجب أن تكون سرعة الرسابة المهبطية الإسفنجية بطيئة بما يمكن من الكشـف على تفويتات الدهان . يتوقف حجم وأقل عدد لتفويتات الدهان على نـوع الخدمـة . إذا كانت طبيعة الخدمة أن نواتج التآكل التى تتكون سوف تسبب الانسداد لتفويتـات الـدهان هذه، فإن التسامح فى تفويتات الدهان سيكون أقل حدة. فى حالـة الطـلاءات بالتغطيـة بالطبقـة السـميكة فإنـه يسـتخدم كاشـف تفويتـات الـدهان مـن نـوع الشـرارة (Sparktype holiday detector) شكل (7/2). لتجنب حرق الثقوب فى التغطيـة فإنـه يجب التحكم فى الفولت والتيار بالنسبة لطبقة التغطية المتضمنة. كقاعدة مقبولة بالنسـبة لطول الشرارة فى الهواء هو أربع أضعاف سمك طبقة التغطية. بعض خبـراء التفتـيش وجدت أن الجهد الجاف للشرارة 3500 فولت كافى جداً للتغطية بسمك 20 مليمتر. يمكـن استخدام كاشـف تفويتـات الـدهان مـنخفض الفولـت بالرسـابة المهبطيـة الرطبـة (Sponge type Detector) شكل (7/1) فى حالة طبقات التغطية الأقل فى السمك.



شكل (7/1) مخطط الدائرة لجهاز اختبار الطبقة الرقيقة لتفويتات الطلاء



شكل (7/2) مخطط الدائرة لجهاز اختبار الطبقة السميكة لتفويتات الطلاء

النقـل والتـداول :

طلاءات التغطية معرضة للتلف الميكانيكى. لذلك فإنه من الضرورى تجنب التصاق طلاء التغطية بالأغراض الصلبة، وخاصة تلك الأغراض ذات السطح الخشن. بعد التغطيات تكون هشة (ذات قصافة) إلى حد ما لذلك فإن يجب تجنب كل ما من شأنه تغيير الشكل. فمثلاً الماسورة ذات البطانة الداخلية يجب عدم ارتطامها مع الجدار على الأرض. المهمات المستديرة ذات الطلاء الخارجى يتم نقلها مع وجود وسادة بين صفوف المواسير ومربوطة إلى أسفل. يتم استخدام حبال الرفع فى حالة التحميل والتنزيل. لتجنب حدوث الإلتواء يتم تحميل المواسير ذات القطر الصغير على عربة ذات سطح تحميل مستوى.

كذلك فإن المواسير والأنابيب بالبطانة الداخلية يتم نقلها بالطريقة التى تمنع الإلتواء. يتم استخدام الوسادة بين الصفوف ، وكذلك التربيط لأسفل بالطريقة التى تجنب تشوية شكل الماسورة عند نقط الضغط يجب منع حدوث التصاق نهايات المواسير بالقوة أو بحركة المؤخرة . يجب تجنب استخدام الخطافات أو أدوات التحميل المشابهة لإدخالها فى نهايات المواسير. يتم استخدام عمليات النهاية (Protectors) على كلا النهايتين للمواسير، مع ترك سدادات الحماية هذه لحين إنشاء الخط أو عامود المواسير فى البئر.

الإنشـاء :

إنشاء عامود الأنابيب (Tubing Strings) يتطلب التداول بطريقة تمنع حدوث التشقق للبطانة الداخلية وذلك بالتواء المواسير الغير ضرورى، الإزاحة لطبقة التغطية من البلاستيك

فى النهايات ، وتغيير شكل الماسورة بالضغط بملقاط الأنابيب (tong Pressure) ، أو الارتطام مقابل أغراض صلبة، أو بالالتصاق الداخلى للماسورة مع أغراض صلبة . يتم استخدام دليل التوجيه (Stobbing Guide) لمنع ارتطام نهايات مسمار المحور بالجلب المسننة لربط ماسورتين (Collars) ، يتم استخدام ملقاط الأنابيب (tongs) ذو لقم لولبة (Dies) ذات انحناء متسع ، وذلك لتجنب تشويه شكل المعدن. فى حالة الاختبار الهيدروستاتيكى لمراجعة الوصلات بالنسبة للتسرب بالجهاز المنفرج مانع التسرب (Straddle Packer tool) ، فإنه يتم تجنب الانخفاض المفاجئ فى الضغط وذلك لمنع حدوث الانفصال لطبقة البطانة. كذلك يجب الحرص نحو منع عوازل الإنتاج من أن تسبب التلف بالاحتكاك للبطانة. يفضل عدم استخدام هذه الأدوات ما أمكن. إنشاءات خط الأنابيب تتطلب نفس الاحتياطات كما فى حالة عامود المواسير.

التعارف :

كل الآبار المحتوية على مواسير مغطاة ومبطنة يتم تعريفها وتسجيلها، وكذلك كل الأفراد العاملين يتم تلقينهم نحو التداول السليم للمواسير من هذه الآبار.

التشغيل :

أثناء التشغيل لأى نظام به مواسير أو أنابيب مبطنة بطبقة حماية داخلية ، فإن الخطر الرئيسى يتمثل فى الإزالة الموضعية لطبقة البطانة وذلك عند استخدام خطوط السلك أو أى أغراض أخرى وكذلك التشقق والفصل للبطانة بفعل الانخفاض المفاجئ فى الضغط ، وهذا الأخير ينطبق عملياً على آبار ضغط الغاز العالى المكثف .

التسجيلات : Records

يتم استمرار التسجيل لخدمة طبقات التغطية لتعيين قيمة الخدمة للطلاء. وهذه تشمل، تاريخ التنفيذ، المكان، وصف لظروف الاستخدام، اسم المنفذ، التعرف على الطبقة، تاريخ ووصف تحضير السطح، وتاريخ ووقت الانتهاء ، تاريخ ووقت التنفيذ كل طبقة، درجة الحرارة والرطوبة أثناء تنفيذ طبقات التغطية ، إجمالى سمك طبقة التغطية الجافة، نتائج اختبارات تفويتات الدهان. كذلك يتم ملاحظة الظروف الغير عادية وتسجيلها أثناء أى

تفتيش وهذه تشمل التفتيش الأولى، أى تفتيشات نفذت أثناء الخدمة، وتفتيش أى مهمات مغطاة أزيلت من الخدمة.

الخزانات والأوعية : Tanks and Vessels

اعتبارات عامة :

تتم التغطية للخزانات والأوعية لمقاومة التآكل ، والمحافظة على الأحجام المعايرة فى خزانات المعايرة الآلية للزيت الخام. أنواع التغطيات تشمل الفينولات الساخنة (Baked Phenolics) أو الأبيوكسيات الساخنة ، الفينولات المطورة ، الإنضاج بدرجة الحرارة العادية أو الطلاءات ذات الإنضاج بالعامل الوسيط مثل الأمينات ، أو ناتج إضافة الأمين (Amine Adduct) أو (Polyamide Cured Epoxies, Amine Cured Epoxy, Modified Phenolics and Amine or Pdyamide Cured Cool Tar Epoxies) أو الطلاءات من الأسفلت أو الكولتار على الساخن ، البولى أيستر الخالى من المذيب والإيبوكسيات. هذه الطلاءات تتم أما فى المصنع أو بواسطة العامل بعد الإنشاء فى الموقع. اختيار الطلاء يتوقف على اعتبارات اقتصادية وظروف الاستخدام وخبرة مستخدم الطلاء ، فى حالة استخدام الحماية الكاثودية بالإضافة إلى الطلاء ، فإنه يلزم استخدام نظام طلاء مقاوم للفصل.

خزانات الماء وخزانات ماء الزيت الخام :

التغطيات المستخدمة عادة لخزانات المياه ولخزانات ماء الزيت الخام هى الإيبوكسيات والكولتار أيبوكسى. وهذه توفر خدمة ممتازة فى كل من الماء والزيت الخام عند 60مْ أو أقل كما تعمل بنجاح عند درجة حرارة حتى 82مْ لفترات زمنية قصيرة. كذلك طلاءات الفينيل والكولتار لهم قيمة فى بعض الاستخدامات.

المرشحات الرملية السريعة :

يجب أن يكون الطلاء للمرشحات الرملية السريعة قادراً على مقاومة التلف بالاحتكاك وذلك عند تقليب الوسط الترشيحى، وكذلك مقاومة التلف الميكانيكى عند تغيير طبقة الترشيح. الطلاءات التى استخدمت بنجاح هى البولى أيستر المقوى بالصوف الزجاج أو

الأيبوكسيات. أو المقوى بالصفحيات الزجاجية. وهذه المواد استخدمت بنجاح فـــى حالـــة المرشحات الدياتومية (Diatomaceous Earth).

خزانات المعايرة الآلية Automatic Gauging Tanks

خزانات المعايرة الآلية تتطلب طلاء مقاوم لكل مـــن التآكـــل وترســـيب البـــارافين. الفينولات المستخدمة على الساخن فى المصنع والأيبوكسيات الفينولية المطورة عادة تنفذ بواسطة صناع الخزان. الأيبوكسيات المطورة والأيبوكسيات الفينولية المطـــورة ســـتكون كافية وذلك عند عدم توفر إمكانيات التسخين. عدادات الإزاحة الموجبـــة يـــتم تبطينهـــا بالطلاءات على الساخن من بين النظم الناجحة فى تلك الخدمة هى البطانة من الفينـــولات زائد طبقات التغطية من الأيبوكسيات الفينولية المطورة حتى سمك كلى 6-8 مليمتر.

معالجة الحرارة: Heat Treatmers

معالجات الحرارة باستثناء ماسورة اللهب يمكن حمايتها بنفس الطلاءات كما فى حالة الخزانات، شريطة إلا تزيد درجة حرارة الماء عن 60م. سيليكات الزنك الغير عضـــوية والطلاءات المقاومة للحرارة الأخرى قللت من تآكل ماسورة اللهب فى بعض الحـــالات ، ذلك قد يكون بسبب خفض ترسيبات القشور والنقط الساخنة.

ناقلات البترول الخام: Crude Dil Tankers

عند حمل الزيت الخام الخالى من كبريتيد الهيدورجين واستخدام الصـــابورة (لحـــفظ التوازن) من مياه البحر، فإن التغطية بالطلاء بسيليكات الزيك أثبت نجاحه.

خزانات حفظ الزيت الخام :

عادة الذى يلزم حمايته هو القاع والجزء السفلى من جدار الخزان حتى 18 إلـــى 24 بوصة. وهذا هو المقطع العرضى للماء. أحيانا يلزم حماية الجانب السفلى للسطح والجدار الداخلى حتى تمام منسوب الزيت. عند الحاجة إلى حماية كلا من الجانب السفلى للســـقف والأرضية ، فإن تكلفة التغطية الداخلية الكلية للخزان تكون أقل. مواد التغطيـــة للحمايـــة تشمل إيبوكسيات الكولتار، الإيبوكسيات عالية القوام والبولى أيســـتر المســـلح بالقشـــور الزجاجية صغيرة القطر، وذلك مع استخدام مواد ملئ أو بدون مواد الملئ ، يستخدم هـــذا

أحياناً لتغطية الأرضية والجزء السفلى من الجدار فقط. فى حالة تآكل القاع من أسفل، فإنه يتم التبطين براتنج مسلح بالصوف الزجاجى أو الخرسانة المسلحة بالصلب وذلك لإعطاء قوة للمنشأ.

إعداد السطح Surface Preparation

العيوب فى سطح المعدن يتم التخلص منها بعملية التجليخ (Grinding) وذلك قبل إعداد السطح للتغطية. فى حالة عدم إمكان التخلص من عيوب السطح فإنه سوف يكون من الصعب جداً تغطية الغرض. عموماً نفس الإحتياطات تتخذ لتحضير السطح قبل التغطية فى خدمة الغمر (Immersion Service) كما فى حالة التبطين الداخلى للمهمات الأنبوبية. يفضل الترميل لحين الوصول إلى المعدن الأبيض طبقاً لمعايير الوكالة الدولية لمهندسى التآكل (NACE) . الشكل العام لسطح المعدن يجب أن يوفر الالتصاق بدون ظهور أجزاء بارزة من المعدن خلال طبقة التغطية. أدنى مستوى لإعداد السطح للتبطين بالراتنج المسلح بالصوف الزجاج أو بالصفائح الزجاجية يجب أن يكون قريباً من الترميل حتى المعدن الأبيض طبقاً للمواصفات القياسية لمعايير الوكالة الدولية لمهندسى التآكل رقم (2). قبل عمل الترميل النهائى يتم جلخ كل النهايات الحادة والبروزات أو كشفها (Chipped) .

عندما تستغرق عملية إعداد السطح عدة أيام، يكون من الضرورى إزالة رمل الترميل (Blasting Sand)، بتفريغ السطح المعد (والذى تم ترمليه) يومياً. فى حالة عدم التغطية للجانب السفلى للسطح، فإنه يكون من الضرورى الكنس بالسفح الهوائى لمنع الزيت الخام الموجود فى أحضان السقف والصدأ والقشور فى داخل السقف من السقوط وتلويث السطح المسفوح.

تنفيذ التغطية: Coating Application

أساساً نفس الاحتياطات المطبقة فى حالة التغطية الداخلية للمهمات الأبنوبية، باستثناء أن فرص التلوث تزداد بسبب الحاجة إلى العمل داخل الوعاء. يمكن توفير الربط الجيد باستخدام الفرشاة للطبقة الأولى. كذلك فإن الطبقات الزائدة بالفرشاة على اللحامات ستقلل من فرص وجود تفويتات الدهان.

الإنشاءات للتبطين المسلح بالصوف الزجاجى أو بصفائح الزجاج يتطلب أن التنعيم للبروزات السطحية مثل رؤوس مسامير البرشام، وكذلك الأجناب بالزوايا القائمة.. الخ. يمكن استخدام الراتنج المسلح بصفائح من الزجاج، المونة الأسمنتية (Grout) أو المعجون لهذا الغرض. يتم استخدام أقل كمية من المونة الأسمنتية أو المعجون الأسمنتى وذلك للمحافظة على رباط الراتنج وعدم فقده. يمكن عمل التبطين باستخدام بندقية الرش العادية والحصيرة الزجاجية أو البندقية قاطعة الزجاج والتى تدفع كلا من الزجاج والراتنج. فى حالة عدم التبطين الكلى للخزان بالصوف الزجاجى، فإنه تتم التغطية بالأيبوكسى لقاع الجدار من 18 إلى 20 بوصة مع التطابق على البطانة من الراتنج المسلح بالصوف الزجاجى عند الأجناب لتوفير اللحام حتى نهاية الزجاج. يمكن استخدام الكولتار أيبوكسى على جزء الجدار فى حالة عدم استخدام الخزان فى خدمة الإنتاج.

التفتيش :

عملية اختبار طلاءات الأوعية تشبه تلك المستخدمة فى التغطية الداخلية للمهمات. يمكن استخدام جهاز الكشف بالرسابة المهبطية الرطبة (Wetsponge Detection) فى حالة طبقات التغطية السميكة. يتم الاختبار قبل الإنضاج النهائى (Final Cure) بحيث أن إصلاحات مطلوبة ستلتصق بطبقة التغطية. يتم اختبار البطانة بالراتنج المسلح بالصوف الزجاج وعمل أى ترقيع أو إصلاح قبل التغطية بالغمر (Flood Coat) .

التسجيل :

يتم التسجيل المستمر لكل التبطين الداخلى للأوعية، كما فى حالة المهمات الأنبوبية تماماً. عند تعرض هذه الأوعية إلى التغير فى درجات الحرارة والرطوبة أثناء تنفيذ طبقات التغطية، فإنه يتم تسجيل هذه الحالات.

إجراءات الأمان :

نظراً لأن طبقات التغطية تحتوى على مذيبات متطايرة، قابلة للاشتعال وسامة، فإنه يكون من الضرورى عمل إجراءات التهوية المناسبة وكذلك الاحتياجات ضد حدوث الحريق أو الانفجارات من المصدر الكهربى أو أى مصدر آخر للحرق. كذلك فإنه يجب

عمل الخلط بحرص شديد ذلك لأن بعض العوامل الوسيطة وعوامل التحفيز تتفاعل مع الراتنج محدثة انفجارات. نظراً لأن كل هذه المواد ضارة للعين والجلد فإنه يتم ارتداء نظارات الحماية ، قفازات مطاط ، وأكمام طويلة ، كما يجب توفير الماء للاستخدام في حالة الالتصاق بالجلد ، أو العين ، حيث يلزم الغسيل الجيد للأيدى والوجه قبل تناول الطعام وأثناء فترات الراحة.

2- اختيار واستخدام المواسير الغير مِعدنية :

مقدمة :

استخدام مواسير البلاستيك فى حقول زيت البترول أساساً بسبب عدم التآكل فى هذه البيئة حيث يحدث التآكل السريع للصلب. كذلك فإن مواد البلاستيك بسبب خفة وزنها وسرعة إنشائها بالإضافة إلى قلة تكلفتها فى كثير من الحالات، لهذا كانت مناسبة فى التصميمات الهندسية لخطوط المواسير. ولكن يجب معرفة أنه رغم عدم تآكل البلاستيك فى البكتروليت التربة أو المياه المالحة كما يحدث فى حالة الصلب، إلا أنها يمكن أن تضعف جداً فى هذه البيئات مع الوقت.

تعريف التآكل يشمل التلف أو الضعف للمادة بسبب عدوانية المادة فى البيئة الملاصقة. مع أخذ هذا فى الاعتبار، فإنه يمكن اعتبار اختيار ماسورة البلاستيك طبقاً لتعيين مقاومتها للتآكل فى البيئة المعينة التى ستتعرض لها. بمجرد اختيار المادة التى سوف تقاوم البيئة الملاصقة فإنه يجب بحث ظروف الاستخدام مثل درجة الحرارة، متطلبات الإنشاء ، والاهتزاز ، مع دراسة البيئة الملاصقة وظروف الاستخدام، فمن المحمل وجود أن ماسورة البلاستيك هى الاختبار الاقتصادى المناسب بالنسبة لتصميم معين. مع الحرص اللازم نحو عمل اختبارات مراقبة الجودة فى مرحلة الإنتاج والإنشاء فى الموقع ، فإنه يمكن الحصول على نظام شبكة مواسير ممتازة.

1- أنواع المواسير :

يمكن أن يكون اختيار الماسورة الغير معدنية مشكلة ذلك بسبب الأنواع الكثيرة المتاحة. يمكن تقسيم المواسير إلى ثلاث أنواع رئيسية وهى :

أ- مواسير الثيرموبلاستيك بالبثق : **Extruded Themoplastic Pipe**

مواد الثيرموبلاستيك هى تلك التى يمكن إعادة تسخينها ، وتليينها ، وإعادة تشكيلها بدون تلف أو فقد لخواصها. أنواع المواسير الثيرموبلاستيك المستخدمة عادة هى:

- **بولى فينيل كلوريد (PVC) .**
- بولى فينيل كلورايد المكلور (CPVC) .
- البولى إيثلين (PE) .
- البولى بروبيلين (PP) .
- البولى استيال (PA) .
- أكليرونيتريل بيوتاداديئين – سيترين Acrylonitrile Butadiene – (Styrene (ABS).
- سيليلوز أسيتيت بيوتيريت ((Cellulose Acetat Butyrate (CAB).

كل هذه المواد يتم تصنيعها بتسخين بودرة المادة الخام إلى نقطة الانصهار وذلك لحدوث الانصهار والبثق لهذه المادة خلال القوالب (Dies) لتشكيلها فى شكل الماسورة. الماسورة اللينة الساخنة يتم تبريدها فى الحال.

ب- مواسير البلاستيك الثيرموسيت المسلحة بالصوف الزجاجى :

Glass Fiber Rein Forced Thermoset pipe

مواد البلاستيك الثيرموسيت هى ثابتة كيماوياً ولا يمكن تليينها أو إعادة تشكيلها بالحرارة. يوجد نوعين رئيسيين فى الاستخدامات العادية وهما :

- الأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى.

  Fiber Glass Reinforced Epoxy (FRE).
- البولى ايستر المسلح بالصوف الزجاجى.

  Fiber Glass Reinforced Polyester (FRP).

الماسورة المسلحة بالصوف الزجاجى تصنع أما بلف الشعيرات أو بالسبك عن طريق الطرد المركزى (Centrifuging Casting) . فى حالة لف الشعيرات تسقى وتشبع

الشعيرات الزجاجية بمادة البلاستيك ثم اللف على قالب التشكيل (Mandrell) عند زاوية مقدرة بدقة بالنسبة لمحور الماسورة. تستمر عملية اللف (Winding) حتى تمام لف الطبقات الكافية من الصوف الزجاجي لتوفير سمك الجدار المطلوب. في ماسورة السبك بالطرد المركزى يتم سبك (Cast) الشعيرات الزجاجية المشبعة بمادة الراتنج مقابل السطح الداخلى لقالب التشكيل الأسطوانى الأجوف بواسطة الطرد المركزى.

جـ- ماسورة الاسبستوس الأسمنتى :

تصنع ماسورة الأسبستوس الأسمنتى من مادة متجانسة مكونة من الأسمنت البورتلاندى وشعيرات الأسبستوس والسيليكا. يمكن إنتاجها مع التبطين بالأيبوكسى، ولكن معظم المواسير المستخدمة تكون غير مبطة.

طرق التوصيل : Joining Methods :

الطرق المستخدمة لتوصيل الأنواع المختلفة من المواسير الغير معدنية موضحة فى الجدول التالى رقم (7/1).

الثيرموبلاستيك	طريقة التوصيل		
	الحرارة	المذيب	القلوظة
البى فى سى PVC		×	×
البى فى سى المكلور (CPVC)		×	×
البولى إيثيلين (PE)	×		×
البولى بروبيلين (PP) البولى أسيتال	× ×		× ×
أكريتونيتريل بيوتادا ين استيرين (ABS)	×	×	×
سيليلوز أسيتيت بيوتيريت (CAB)	×	×	×
الثيرموسليت			
الإيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى (GRE)		×	×
البولى أيستر المسلح بالصوف الزجاجى (GRP)		×	×
الأسبستوس الأسمنتى	التوصيل بالحلقة المطاط		×

يمكن استخدام اللحام بالحرارة لكل من (PA, ABS, CAB, PP, PE) تستخدم هذه الطريقة عنصر تسخين لتليين النهايات للوصلات والتى عندئذ يتم تناكبهما معا (Putted Together) والثبات فى المكان حتى برودة الوصلة. تحدث كمية قليلة من الفلطحة (Upsetting) ولكن هذه عادة ليست مرفوضة. حوالى 25% من وصلات المواسير الثيرموبلاستيك يتم بالصهر التناكبى (Puttfusion) . يمكن استخدام لحام المذيب فى حالة (GRE, ABC, CPVC, PVC) عادة تتكون هذه الطريقة من استخدام محلولين – يتم أولاً استخدام المذيب ثم الغراء (Glue) لكل من النهايات الرأس والجلبة ثم يتم دفع الوصلات بسرعة معاً، حيث تنصهر الطرف الرأسى فى الطرف الجلبة. حوالى 75% من وصلات المواسير البلاستيك تتم بنوع لحام المذيب.

بالنسبة للماسورة الثيرموبلاستيك تعتبر الجلبة هى أهم جزء فى الوصلة . يوجد نوعين من الجلبة (Collars) وهما المشكلة فى قالب تشكيل (Molded) ، والمستدقة بالتشكيل بالدفع خلال فتحة ضيقة (البثق) (Tapered Extruded) لا توجد فائدة من أن تكون الجلبة مستدقة على الأخرى شريطة أن يكون لها نفس الاستدقاق . تكون الوصلة رديئة إذا كانت الجلبة ليست مستدقة بالشكل السليم . القلوظة يمكن استخدامها فى معظم المواسير الغير معدنية وهى تحقق وصلات جيدة فى حالة سمك الجدار كبير بما فيه الكافية. عادة يوصف الجدول (80) (Schedule 80) بالنسبة لمواسير الثيرموبلاستيك الملقوظة. فى حالة المواسير المقلوظة أو بالجلبة فإن ضغط التشغيل ينخفض إلى حوالى 50%. فى حالة مواسير الأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى (GRE) ، فإن القلوظة أما أن تقطع فى النهاية المفلطحة (Upset End) أو أن تشكل بالإضافة على الماسورة القياسية (Molded) بحيث لا يحدث أى انتقاص فى السمك.

الاستخدامات : Applications

عند استخدام المواسير الغير معدنية فإنه يجب مراعاة ثلاث عوامل أساسية وهى (1) المقاومة الكيماوية (2) والخواص الميكانيكية (3) الاعتبارات الاقتصادية.

المقاومة الكيماوية :

فى عمليات حقول البترول تكون المقاومة الكيماوية لسوائل الزيوت أو الغازات والكيماويات المستخدمة فى المعالجة ذات أهمية بالغة هذه السوائل موجزة فى الجدولة (7/2).

جدول (7/2) سوائل حقول البترول وكيماويات المعالجة

سوائل حقول الزيت أو الغاز	كيماويات المعالجة
الزيت الخام (يحتوى على كبريتيد الهيدروجين أو لا يحتوى عليه).	حامض هيدروكلوريك.
مياه عذبة	حامض ستريك مثبطات التآكل مبيدات الفطريات (Biocides)
المياه المالحة ومياه البحر	المذيبات الأروماتية
كبريتيد الهيدروجين (الرطبة)	التربنتين Tarpentine
الغاز الطبيعى	Carbon disulfide Toluene Xylene Naphtha

كل مواسير البلاستيك التى تم مناقشتها لها مقاومة لعدوانية المياه المالحـــة، الخـــام، والغاز الطبيعى ذلك لأنها استخدمت بنجاح لسنين طويلة فى هذه البيئات. ولكـــن هـــذا لا يعنى أنها لا تتأثر كلية. بعض من هذه المواد يحدث له ضعف بتلك المنتجات وذلك بسبب الامتصاص لفترة طويلة. لذلك فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عامل الخدمة أو البيئة فى حالة الإنشاءات لفترة طويلة.

الخواص الميكانيكية :

الخواص الطبيعية ذات التأثير على اختبار مادة الصنع للماسورة لاستخدام معين هى درجات الضغط ودرجات الحرارة. لسوء الحظ فإن درجات الضغط تعتمد عـــادة علـــى درجة حرارة التشغيل والفترة الزمنية التى تتعرض لها المادة فى ظروف التشغيل. طبيعى ، كلما زادت درجة الحرارة، كلما قل ضغط التشغيل المسموح باستخدامه.

اختبار ضغط الانفجار هو من أهم خواص المواسير البلاستيك، وبـذا فـإن عمـر الماسورة يتأثر بدرجة الحرارة وضغط التشغيل ونوع السائل ، جميع اختبارات الضـغط يجب أن تشمل الوصلة ، ذلك لأن الوصلة هى جزء مكمل لخط المواسير. كمـا يجـب ملاحظة أن قيم الضغوط يجب خفضها وذلك عنـد حـدوث اضـطراب فـى الضـغط (Pressure Surging) إنه عادة يتم التعامل مع الاضطراب فى الضغط عند 10 إلـى 15 ضعف ضغط التشغيل العادى فى وقت طويل ، وخاصة عند استخدام محـابس تحكـم . بالإضافة إلى أنه يجب ضبط أقصى ضغط تشغيل بالنسبة لدرجة الحرارة.

الاستخدامات التقليدية : Typical Applications :

بعض الاستخدامات التقليدية فى صناعة البترول والغاز هى :

الثيرموبلاستيك :

1. خطوط التدفق المستخدمة أساساً لحمل السائل المنتج من الزيت أو الزيت والمـاء من البئر إلى معدة الفصل وبطاريات التخزين.
2. خطوط التجميع – للزيت والماء أو غاز الضغط المنخفض.
3. خطوط المياه المالحة – أساساً نظام الصوف والتخلص.
4. التبطين لخطوط المواسير الصلب فى عمليات الضغط العالى.
5. خطوط الوقود – لمحركات الغاز.

الأيبوكسى المسلح بالزجاج :

1. يستخدم فى جميع الاستعمالات السابقة.
2. مواسير آبار الحقن والصرف.

الأسبستوس الأسمنتى :

1. خطوط المياه المالحة – خطوط الصرف ونظم التجميع.
2. نظم حقن المياه.
3. الوصلات من جميع الأنواع.

المميزات والعيوب :

من الواضح أن نظم المواسير الغير معدنية ستكون جذابة جداً عندما تكون قادرة على تحقيق المتطلبات الفنية بسعر يساوى أو يقل عن نظم الصلب. ولكن يجب على المستخدم أن يعى بجميع المميزات والعيوب لنظم المواسير الغير معدنية.

المميـزات :

1. المواد الغير معدنية لها مناعة بالنسبة للتآكل فى الماء.
2. خفة الوزن وقلة تكلفة النقل وسهولة التداول.
3. سهولة وسرعة التوصيل والإنشاء.
4. لا تحتاج إلى حماية خارجية من التآكل مثل التغطية والتغليف والحماية الكاثودية.
5. نعومة السطح الداخلى ينتج عنه انخفاض فى الفقد بالاحتكاك.

العيـوب :

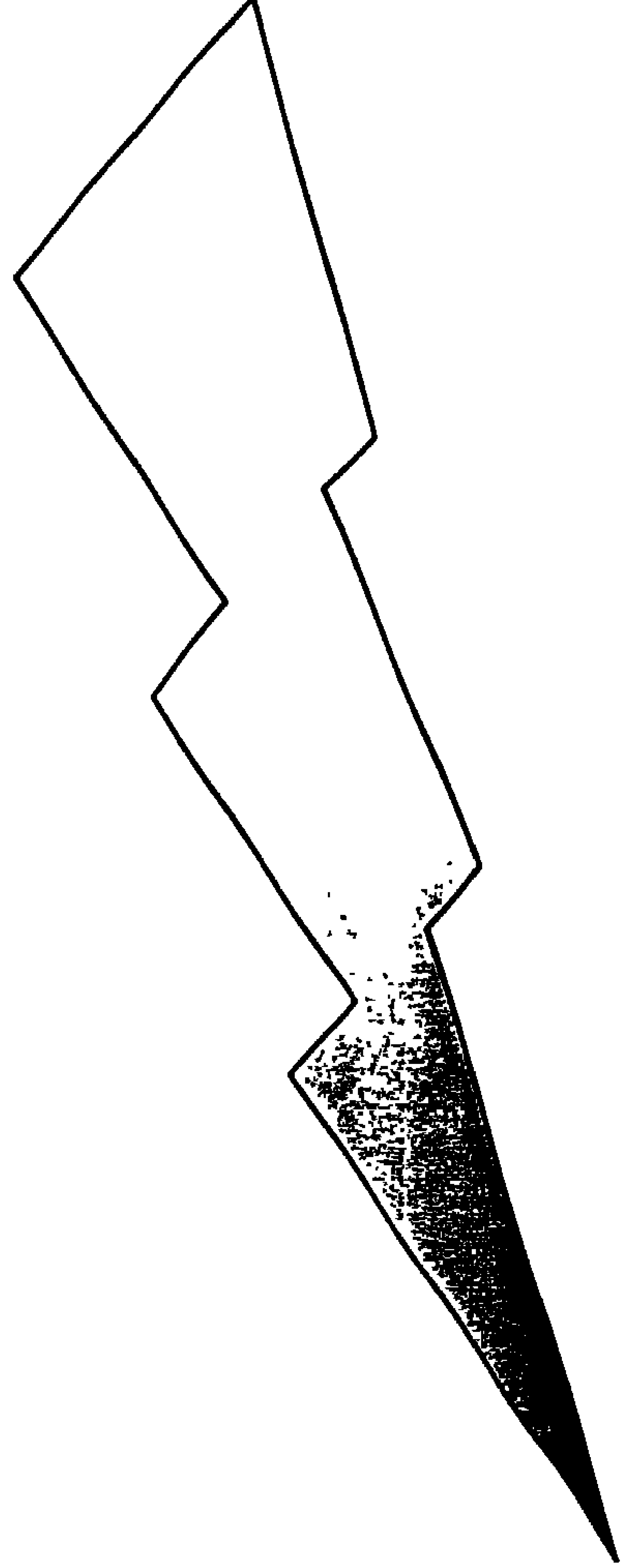
1. المواسير الغير معدنية لها حدود للعمل بالنسبة للضغط ودرجات الحرارة.
2. هذه الحدود يصعب استنتاجها بالتأكيد.
3. حدود الضغط ودرجة الحرارة عادة مرتبطة ببعضها (أى زيادة الحرارة ، يعنى انخفاض ضغط التشغيل المسموح به)

زيادة على ذلك ، فإن الخواص الطبيعية تتغير مع الوقت فى الظروف العادية.

1. يلزم التداول الحذر فى التحميل والتنزيل والإنشاء.
2. مواسير البلاستيك يلزم دفنها لحمايتها من أشعة الشمس (التى تسبب التلف مع الوقت) ، التلف الميكانيكى ، والحرائق.
3. يمكن أن يحدث الارتشاح (إطلاق عصارة) فى مواسير الأيبوكسى المسلح.
4. المواسير الغير معدنية مقاومتها للاهتزازات واضطراب الضغط (Surging) منخفضة جداً. كلا من مواسير الأيبوكسى المسلح ومواسير البى فى سى يتم استخدامها عند 30-50% من أقصى ضغط التشغيل الموصى به وذلك لمواجهة اضطراب الضغط.

الفصل الثامن

الحماية الكاثودية



مقـــدمة :

الحماية الكاثودية يمكن تعريفها بأنها التقنية لخفض تآكل سطح المعدن وذلك بتمرير تيار كاثودى كافى نحوه ليسبب انخفاض معدل تآكله الآنودى إلى حد الغير مقدر. بمعنى أبسط، فإنه استخدام التيار الكهربى المستمر من مصدر خارجى ليعارض صرف تيار التآكل من المناطق الآنودية للمنشأ المعدنى المغمور فى مجال موصل ، أو إليكتروليت مثل التربة والماء. عند الإنشاء الجيد لنظام الحماية الكاثودية ، فإن جميع أجزاء المنشأ المحمى تجمع التيار من الإليكتروليت المجاور، حيث يصبح إجمالى السطح المعرض منطقة -كاثودية واحدة- ولهذا كانت التسمية.

من الواضح، فإن الحماية الكاثودية تكون قابلة للتطبيق فقط لمقاومة التآكل الناتج من تدفق تيارات مستمرة مقاسة من أحد أجزاء المنشأ (المنطقة الآنودية) خلال الإليكتروليت إلى جزء آخر من المنشأ (المنقطة الكاثودية) هذا التآكل هو كهروكيميائى بطبيعته والمنطقة الآنودية حيث يتم صرف التيار الإليكتروليت تتآكل على العكس المنطقة الكاثودية تجمع التيار ولا تتآكل أى أنها محمية كاثودياً.

لتفهم الحماية الكاثودية واستخداماتها إلى أى درجة مفيدة فإنه يكون من الضرورى أولاً تفهم أساسيات وطبيعة وأسباب التآكل الكهروكيميائى.

التآكل الكهروكيميائى :

يحدث نوعين أساسيين من التآكل الكهروكيميائى على المعادن المغمورة فى الإليكتروليت. وهما ذلك الذى يحدث طبيعياً وذلك الذى يحدث بفعل الإنسان. الأخير عادة يعرف بالتحلل الكهربى (Electrolysis) ، ذلك رغم أن هذه التسمية تستخدم بطريقة خاطئة لتغطية كلا النوعين. التحليل الكهربى (Electrolysis) يسمى كذلك تآكل التيار الشارد (Stray Current Corrosion) ، الناتج عن صرف التيار المستمر نحـــو

التربة أو الماء (الإليكتروليت) من خلال إنشاءات الحماية الكاثودية أو عربات الترولى التى تعمل بالتيار الثابت أو من خلال معدات اللحام. عند النقاط هذه التيارات من الإليكتروليت على أحد المساحات للمنشأ المعدنى (بخلاف قضبان عربات الترولى أو نظم الحماية الكاثودية) وتصرف فى منطقة أو مساحة أخرى لذلك المنشأ المعدنى، فإنه يحدث

تآكل كهروكيميائى فى منطقة صرف التيار (الأنودية) ، وينتج عن ذلك درجة من الحماية الكاثودية فى منطقة التجميع (الكاثودية) للمنشأ.

إن حدوث التآكل الكهروكيميائى للمعدن فى التربة أو فى المعدن هو من الحالات الطبيعية ذات العلاقة اليومية فى عمليات إنتاج البترول والتى تستخدم لمقاومتها الحماية الكاثودية.

مبادئ الحماية الكاثودية :

تيارات التآكل الكهروكيميائى يمكن انعكاسها بالاستخدام المناسب للحماية الكاثودية، والتى تجعل كل المنشأ كاثودى حيث يلغى أو يبطل المناطق الآنودية التى تحدث طبيعياً بفعل التيار المستمر الذى يغذى المنشأ من الخارج ، من آنود أكثر قوة. المصدر الحقيقى لهذا التيار الخارجى غير هام.

الشكل (8/1) يوضح فى مخطط مبسط الدائرة الأساسية للحماية الكاثودية لاحظ أن تيار التآكل الكهروكيميائى من الآنود إلى الكاثود (غير موضح) تم استبداله بالتيار من آنود إضافى.

الحماية الكاثودية ليست بالضرورة تبعد التآكل ولكنها تنقل التآكل من المنشأ تحت الحماية وتركزه عند موقع آخر معلوم حيث آنود صرف التيار أو الآنودات يمكن أن تصمم لمدة زمنية طويلة مع سهولة استبدالها.

الحماية الكاثودية ذات قيمة فقط لسطح المعدن المعرض لنفس الإليكتروليت مثل الآنود فمثلاً، الحماية الكاثودية المستخدمة للقاع الخارجى لخزان المياه المالحة ليس لها تأثير على التآكل الداخلى والعكس صحيح.

معيار (أو قواعد) الحماية الكاثودية Criteria for Cathodic Protection :

خلال السنين تم عمل مختلف المعايير لتعيين تأثير إستخدامها على مختلف المنشآت. تلك الأكثر استخداماً هى قياسات الفولت (فرق الجهد) بين المنشأ المحمى والإليكتروليت.

من المحتمل أن يكون أكبر معيار مستخدم يشمل استخدام قطب النحاس/ كبريت النحاس كنصف بطارية قياسية للمعايرة. يتوقف القطب ببساطة من قضيب من النحاس

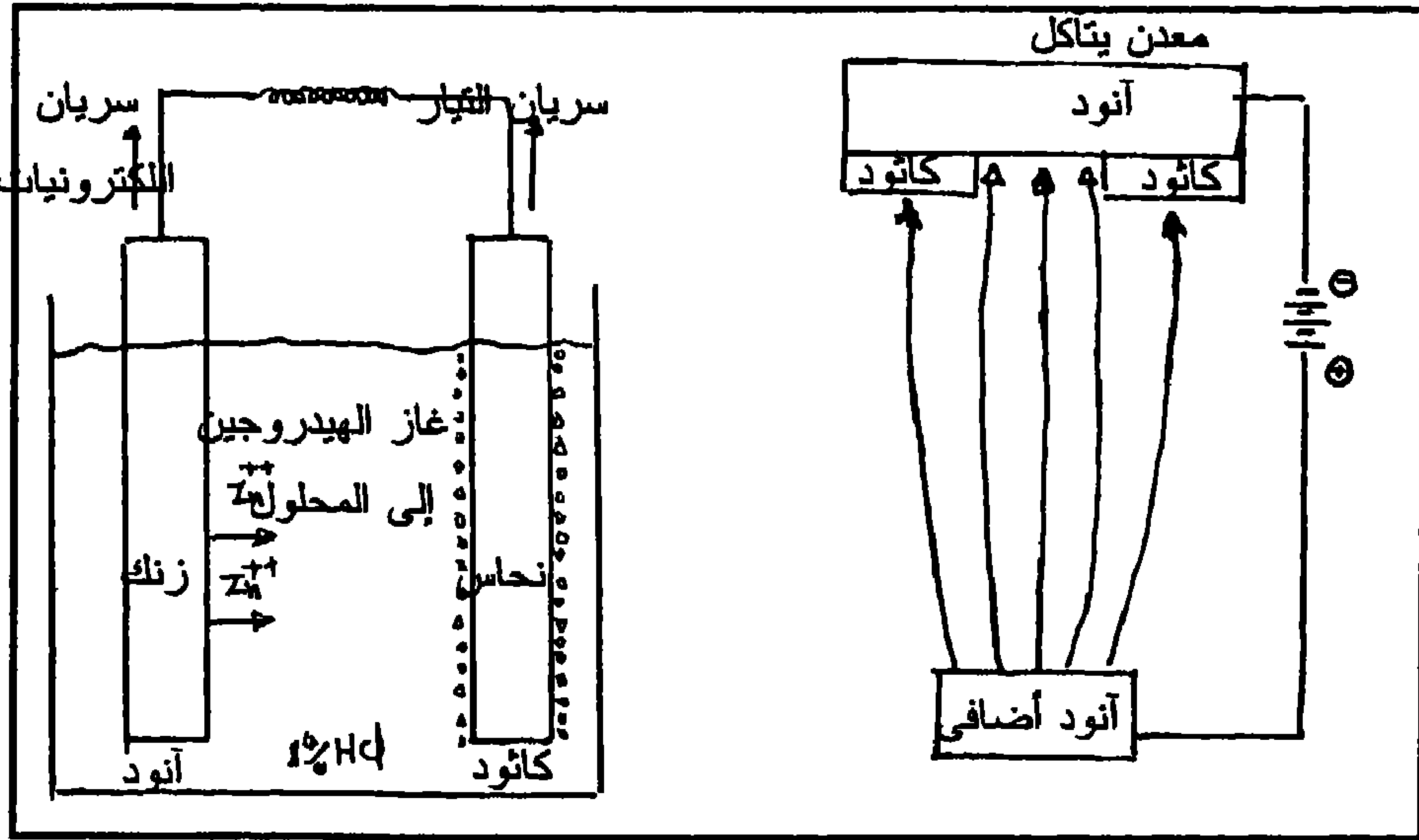
مغمور فى محلول مشبع من كبريتات النحاس، وكلاهما تحتويه أسطوانة من البلاستيك ولها سدادة مثقبة عند نهاية القاع (للالتصاق مع الإليكتروليت) وقضيب النحاس ممتد إلى خارج القمة (للاتصال بالمقياس عالى المقاومة الفولتميتر أو البوتنشيوميتر).

لقد أظهرت الخبرة أنه عندما تكون قراءة الفولت ما بين المنشأ والإليكتروليت = – 0.85 فولت، أو أكثر سلباً بالنسبة لقطب النحاس كبريتات النحاس ، فإن التآكل يتوقف أساساً على المنشآت من الصلب ، فى التربة الطبيعية والماء. الحماية الزائدة للصلب، الوصول إلى جهود سالبة كثيراً إلى –0.85 فولت ليست ضار عادة، ولكنه مضيع للجهد وقد يسبب التلف لطبقات تغطية معينة على المنشأ وخاصة فى حالة صغر سمك طبقات التغطية . المعيار المتعلق بالصلب هو بتغيير الجهد 300 مليفولت (0.3فولت) فى الاتجاه السالب ، أو الاتجاه الكاثودى من قيمته الأولية.

من الطبيعى ، أن الملاحظة البصرية المباشرة نحو تأثير الحماية الكاثودية قد تكون ممكنة فى كثر من الحالات ، أو قد تجهز عينة اختبار من نفس المعدن على المنشأ المحمى لإمكان المراجعة من آن إلى آخر. لدرجة التأثير لتيار الحماية المستخدم.

أخيراً، حيث أظهرت الخبرة أن كثافة تيار معينة كانت مؤثرة فى حماية الصلب فى بيئة متجانسة نسبياً ، عندئذ فإن كثافة التيار هذه المستخدمة بتجانس وانتظام يمكن اعتبارها كمعيار غير مباشر للحماية.

كثافات التيار بقيمة واحد مليأمبير على القدم المربع على سطح ماسورة صلب عارى (غير مغطى) سوف يوفر الجهد المطلوب.



شكل (8/1) مخطط لدائرة يوضح طريقة تحرك التيار من الآنود إلى سطح قطعة معدن يتآكل فى نظام لحماية الكاثودية

كل (٢/٨) عند الاتصال الكهربى كهربى للزنك والنحاس ووضعهم فى محلول حامضى الهيدروكلوريك ، فإن الزنك يذوب فى الحامض ويتولد غاز الهيدروجين على سطح النحاس

جدول (8/1) التسلسل الجلفنى لمختلف المعادن فى مياه البحر

أكثر نشاطاً	المغنيسيوم/ سبائك المغنيسيوم
أكثر ندرة	الزنك
	الصلب المجلفن
	الألومنيوم وسبائك الألومنيوم
	الصلب المطاوع
	الحديد الزهر
	الصلب المقاوم
	الرصاص
	القصدير
	سبائك النيكل
	سبائك النحاس الأصفر
	النحاس
	الفضة
	الجرافيت
أكثر نشاطاً	الذهب
أكثر ندرة	البلاتين

للتجاوب فى معظم أنواع التربة فى مياه البحر، يكون المطلوب عادة كثافة تيار بين 7-8 مليأمبير ، القدم المربع للحماية الأولية لمناطق التآكل على المنشآت الصلب. فى البيئات القاسية (حيث درجة الحرارة المنخفضة و/أو معدلات التدفق العالية فإن المتطلبات يمكن أن تكون أفضل كثيراً. الاستقطاب وتأثيرات الأمبير/ساعة تعمل على خفض متطلبات كثافة التيار لاستمرار جهد الحماية إلى حوالى نصف القيمة الأولية.

مصادر التيار الثابت للحماية الكاثودية :

توجد طريقتين لتوفير تيار الحماية الكاثودية الضرورى وهما مختلفتين بما يتطلب مناقشتهما وهم (1) الآنودات الجلفنية، المرتبطة مباشرة بالمنشأ المطلوب حمايته (2) أنودات التيار المسلط (Impressed) والتى تكون خاملة نسبياً وتتطلب مصدر طاقة خارجى للتيار المستمر لدفع التيار لكى يسرى.

الآنودات الجلفنية : Galvanic Anodes :

الآنودات الجلفنية هى عبارة عن سبائك خاصة عالية النقاء من المغنسيوم، الزنك، الالومنيوم، والتى تعطى الجهد الكافى العالى الذى يوفر السريان الكافى للتيار خلال الإليكتروليت إلى المنشأ المطلوب حمايته. المبدأ هو ذلك لخلية التآكل بالمعدنين الغير متماثلين الموضحة فى الشكل (8/2) ، والسبب فى أن كلا من المغنسيوم والزنك يعملوا بهذا الشكل فهو موضح طبقاً لمكانهم بالنسبة للصلب فى التسلسل الجلفنى العملى الموضح فى الجدول (8/1) . استخدام الأنودات الجلفنية من سبيكة الألومنيوم محدود فقط فى مياه البحر أو المياه عالية الملوحة حيث يكون أداءها جيد. آنودات الألومنيوم تم اختبارها فى استخدامات التربة ولكن لم تثبت الصلاحية. آنودات المغنسيوم كثيرة الاستخدام فى تطبيقات التربة بسبب جهدها النشط تستخدم آنودات الزنك على نطاق واسع فى التربة ذات المقاومة المنخفضة وفى المياه. الألومنيوم كما تم ذكره فهو ممتاز فى المياه المالحة، وله الميزة الإضافية وهى الطاقة العالية لكل رطل من الآنود .

عند المقارنة فى ظروف الاستخدام العادية، فإن المغنسيوم يستهلك بمعدل 17 رطل/ الأمبير فى العام تقريباً ، والزنك عند معدل 26 رطل ، كما يوجد سبيكة الألومنيوم التجارى الممتاز حيث معدل استهلاكها 6.8 رطل.

نظام التيار المسلط (Impressed current) :

كميات كبيرة من تيار الحماية يتطلب عادة نوع نظام التيار المسلط الشكل (8/3) يوضح نموذج لنظام معدل التيار (Rectifier) على خط مواسير مدفون حيث يتحول التيار المتغير إلى التيار المستمر والذى يتم بعد ذلك تسليطه على طبقة أرضية من آنودات الجرافيت. طبقة الآنود متصلة بالجانب الموجب (+) لمحول التيار، بينما خط المواسير يكون متصلاً بالجانب السالب (−) لإكمال الدائرة . مثل هذه التجهيزات عادة تولد من 10 إلى 100 أمبير أو أكثر، من تيار الحماية فى مكان واحد.

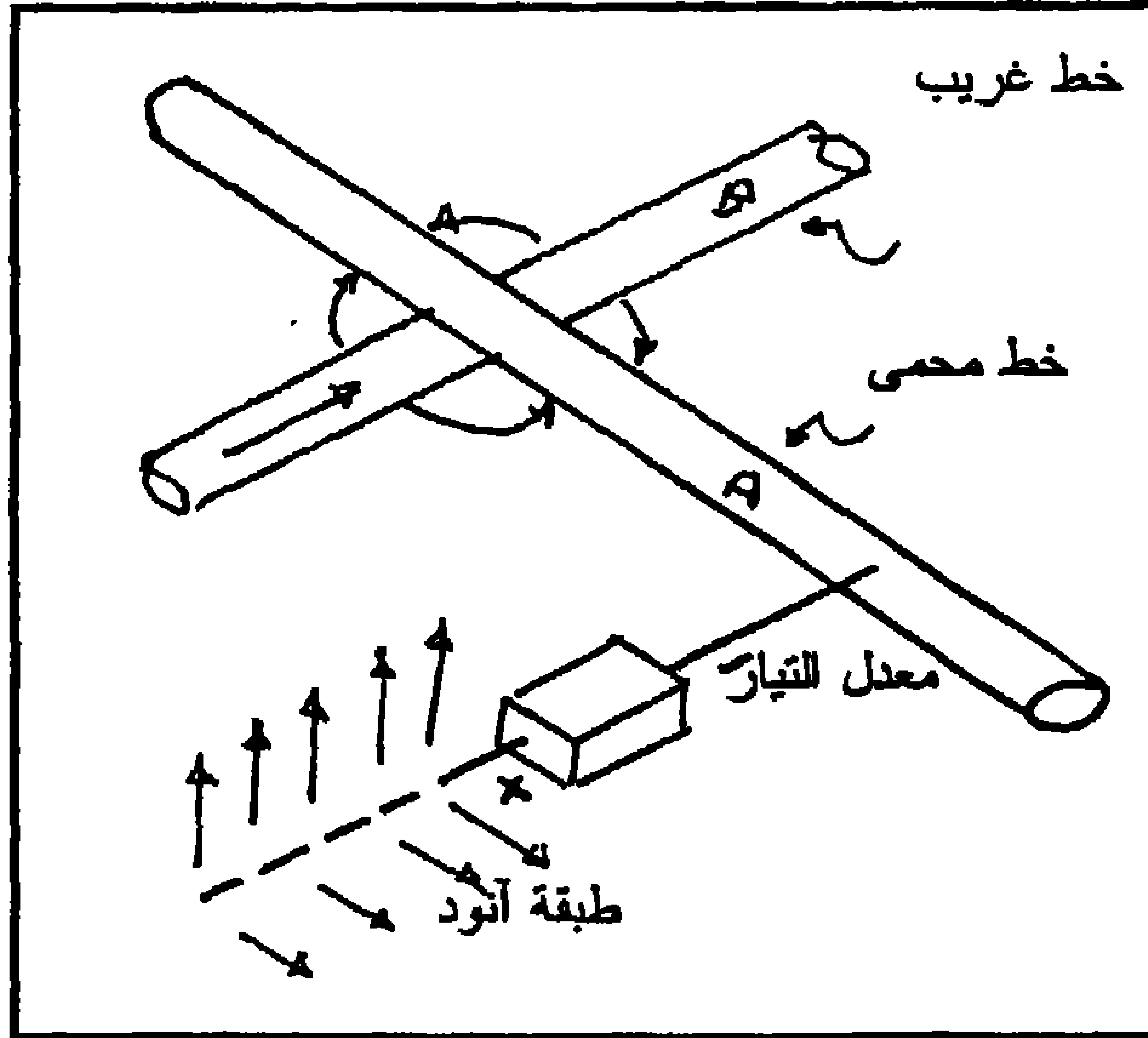
شكل (8/3) مخطط لنظام التيار المسلط على جزء من ماسورة مدفونة يلاحظ أن المسافة بين مصفوفة الآنود وخط المواسير أكبر مما هو موضح فى الرسم.

الآنودات الأخرى المستخدمة فى مثل هذه الحالة (والتى تسمى آنودات التيار المسلط) هى سبائك السيليكون – الحديد حتى خردة الحديد مثل المواسير أو القضبان. يستهلك الصلب بمعدل عالى (حوالى 20 رطل لكل أمبير يتم صرفه فى العام)، والآنودات الشبه خاملة من الجرافيت أو السيليكون – الحديد تستخدم عادة فى التربة بصفة خاصة ، فى المياه المالحة آنود سبيكة الرصاص (6% أنتيمون، 1% فضة) زاد استخدامه بسبب انخفاض معدل استهلاكه ، والذى يكون 0.1 رطل لكل أمبير فى العام. أقطاب المعادن الثمينة مثل التيتانيوم المعالج بالبلاتين تستخدم كذلك (Platinized Tatanium) عند عدم توفر مصدر طاقة كهربية متغيرة (AC)، فإنه يمكن استخدام مولد التيار المستمر (DC) للأحمال الثقيلة، أو المعدات الكهروحرارية حيث المطلوب تيار أقل (Thermoelectric Generators).

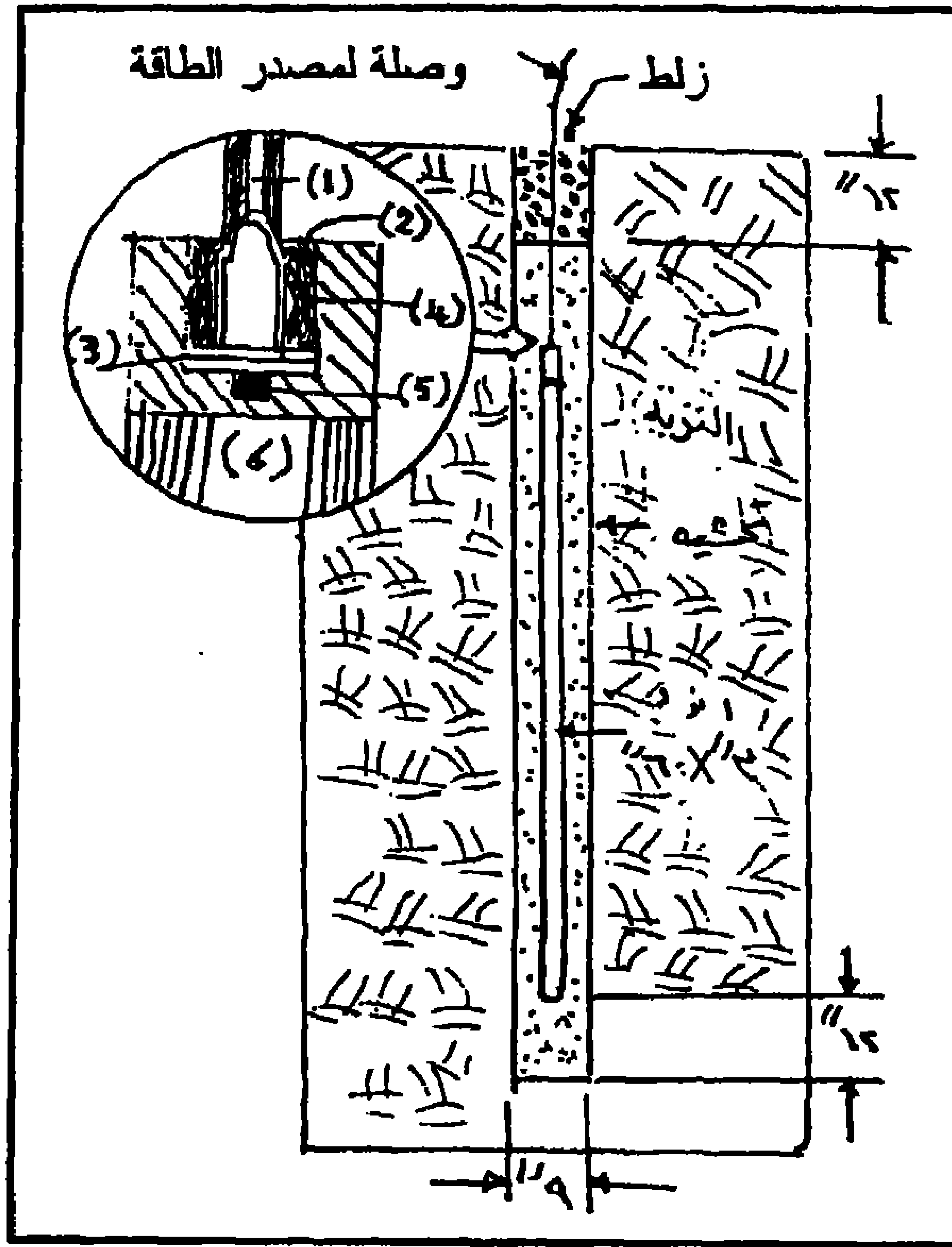
عموماً يتم استخدام الآنودات الجلفنية حيث كمية تيار الحماية المطلوب تكون صغيرة أو يجب أن تكون موزعة بطريقة جيدة مثل خط المواسير العارى (الغير مغطى) الطويل لذلك فإن استخدامها محدود فى التربة والمياه ذات المقاومة المنخفضة بما فيه الكفاية بحيث أن كمية التيار المنتج لكل آنود تكون ذات استخدام عملى على الجانب الآخر فإن نظم التيار المسلط قادرة على إنتاج مثل هذه الكمية الكبيرة من التيار فى مجال بيئى معين ولكن تحتاج إلى مصدر طاقة خارجى.

المشكلة الرئيسية عند استخدام معدلات التيار (Rectifiers) كمصدر للطاقة هى تلك بالنسبة للتداخل بسبب الخطوط الغير محمية الشكل (8/4) يمكن ملاحظة أن الخط الغريب يستقبل حماية حيث يدخل التيار الماسورة، ولكن التآكل المعجل يحدث حيث يترك التيار الخط الغريب. فى حالة وضع توصيل معدنى مناسب بين الخطوط المحمية والغير محمية، فإن هذه المشكلة لا تحدث. طبقاً ، فإن ذلك يعنى أن كلا المنشأين يستقبل تيارات كاثودية، وأن التيار المطلوب لتوفير الحماية المناسبة بالتالى سيزداد.

فى جميع إنشاءات الحماية الكاثودية ، يكون من المهم أن يتم الإنشاء الجيد للأنودات بحيث يكون هناك أدنى مقاومة كهربية ، بين الآنود والتربة المحيطة. حيثما أمكن ، يتم وضع الآنودات ، فى الأماكن حيث مقاومة التربة منخفضة كما فى حالة حفر الطفلة القديمة. عادة يتم التخشين بمادة ذات مقاومة منخفضة حول الآنود للعمل كتخشينة ملئ . نموذج لأنود الجرافيت (أو آنود السيليكون المنشأ مع تراب الكوك للملئ والتحشية موضح فى الشكل (8/5).



شكل (8/4) مخطط يوضح استخدام التيار لحماية خط المواسير قد تتحرك من طبقة الآنود إلى خط غريب قريب وعندئذ يترك خط المواسير حيث تقاطع مع ليعود إلى معدل التيار. حيث يترك التيار خط المواسير يحدث التآكل.



شكل (8/5) مخطط لمقطع لآنود مدفون من الجرافيت أو الزهر السيليكونى يوضح إنشاء الآنود.
الآنود عادة يكون محاط بطبقة من تراب الكوك كما فى الشكل.
الشكل يوضح تفاصيل اتصال الكابل بالجرافيت (1) كابل معزول مقاوم للماء (2)
عازل مطاط (3) حلقة عزل من النحاس (4) عزل مانع للماء (5)
حلقة نحاسية ملحومة مع الكابل (6) قضيب معالج ضد الرطوبة.

دور طبقات التغطية : Role of Coatings

لقد استخدمت التغطية للحد من التآكل الكهروكيميائى بدرجات مختلفة من النجاح. فى حالة توفر طبقة التغطية بتكلفة مناسبة والتى تحقق العزل الكهربى الجيد ما بين المنشأ والإليكتروليت ، وأن يتم استخدام طبقة التغطية هذه واستمرارها فى حالة جيدة بدون أى تفويتات دهان أو شروخ أو ثقوب عندئذ لا تكون هناك حاجة لأى شكل آخر من أشكال الحماية من التآكل. سيكون واقع خلايا التآكل غير متصل. عملياً ، كل طبقات التغطية بها عيوب ، حيث يحدث التآكل عند مناطق تلفيات طبقات الطلاء هذه عادة بمعدل عالى

ذلك بسبب صغر مساحة المعدن المعرض ولكن طبقات الحماية هى سلاح مؤثر جداً فى الحماية من التآكل ، وعند استخدامها مع استخدام الحماية الكاثودية فإنها تحقق الحماية الكاملة مع أدنى استخدام للتيار الكهربى المطلوب.

فى كثير من الحالات فإن التغطية لا يمكن إقرارها اقتصادية كوسيلة لخفض تكاليف الحماية من التآكل بطريقة الحماية الكاثودية. كمثال ، كما فى حالة المساحة المغمورة للأرصفة الصلب البحرية. ولكن فى كثير من الحالات الأخرى تكون التغطية لا مفر منها كما فى حالة خطوط المواسير المدفونة ذات الضغط العالى. من الطبيعى فإن الخطوط العارية الموجودة يجب قبولها كما هى ويتم عادة استطلاعها وحمايتها عند النقط الساخنة فقط لأسباب اقتصادية.

طبقات التغطية العادية لخطوط المواسير تكون سميكة ، وتكون مبنية من البيتومين المستخدم على الساخن مع مختلف التقويات ومواد التغليف. مواد مشابهة قد تستخدم للخزانات المدفونة أو لقيعان الخزانات. فإنها يمكن أن تكون مؤثرة بنسبة 99% أو أكثر بالنسبة لعزل المعدن وعدم التصاقه مع التربة أو الماء وكذلك فى خفض كمية تيار الحماية الكاثودية المطلوبة.

تستخدم كذلك كثيراً طبقاً تغطية ذات سمك رقيق وصغير. حدث تطور كبير نحو تغطية خطوط المواسير بالشرائط (Tape) ، وهى تستخدم حالياً على نطاق واسع، بينما طبقة التغطية الرقيقة التقليدية من الإيبوكسات والفنيلات (Vinyls and Epoxies) استخدمت للتبطين الداخلى لخطوط المواسير والخزانات وأوانى ومستودعات حقول البترول . رغم أن الشرائط تعطى نتائج تشبه لطبقة البتيومين المستخدم على الساخن على خطوط المواسير، الفينيل والأيبوكسى يجب التعامل معهم بحرص عند استخدام الحماية الكاثودية . فهذه عموماً ليست مؤثرة فى خفض متطلبات التيار للحماية الكاثودية مثل التغطية بالبتيومين وبالشرائط، بالإضافة إلى أنها أكثر عرضة للتلف من زيادة الحماية (Dver Protection) ، أى من زيادة فرق الجهد الناتج خلالها ما بين الكاثود والإليكتروليت . تستخدم أحياناً التغطية أو التبطين بالمونة الأسمنتية حول قيسونات البئر وداخل خطوط المواسير التى تتداول المياه العدوانية. تأثيرها بالنسبة لمقاومة التآكل يرجع

إلى سمكها وكذلك للتغطية المستمرة . مثل هذه التغطيات تكون موصلة نسبياً ولا تعمل على خفض متطلبات التيار للحماية الكاثودية كما تفعل زيادة التغطية التقليدية.

تتكون الترسيبات والتغطية بالمواد الحجرية الركامية (Calcerous) ببطئ على المنشآت المحمية كاثودياً مع مرور الوقت. ولكن هذه تغطية شديدة الضعف فى التقدير العام ، فهى يمكن أن تخفض متطلبات التيار بنسبة 50% أو أكثر، كما أنها تساعد جداً فى إطالة انتشار التيار على طول خط المواسير الغير مغطى أو قيسون البئر المحمى كاثودياً.

طرق الساحة الأرضية فى عمل الحماية الكاثودية :

لتعيين الحاجة إلى ملائمة استخدام الحماية الكاثودية فإن ذلك يتطلب أجهزة خاصة وتقديرات. لأن كلا من التآكل والحماية الكاثودية ذات طبيعة كهروكيميائية، فإن أعمال المساحة الأرضية للحماية الكاثودية تتكون أساساً من قياساً كهربية منظمة ومرتبطة ببعضها جيداً. أهم هذه هى :

- قياسات الجهد المنشأ إلى التربة.
- قياسات تدفق التيار (IR Drop) ، أما فى المنشأ نفسه أو فى الإليكتروليت المحيط بالمنشأ.
- قياسات مقاومة الإليكتروليت.
- اختباراً متطلبات التيار.

قياسات الجهد (Potential Measurements) :

عادة تعطى قراءة الجهد بالمليفولت أو الفولت. نظراً لأن الفولت هو حقيقة الفرق بين جهدين، فإن الجهد كما يقرأ هو قراءة الفولت ما بين المنشأ الجارى بحثه وقطب قياسى مناسب (Reference Electrode) [عادة نصف بطارية من النحاس/ كبريتات النحاس] موضوع فى الإليكتروليت قريباً من المنشأ القيم النموذجية لجهود مختلف المعادن فى التربة المتعادلة أو الماء، مقاسة بالنسبة لقطب النحاس / كبريتات النحاس موضحة فى الجدول (8/2) :

جدول (8/2) التسلسل الجلفنى العملى

المعدن	الفولت (Volts)
• مغنسيوم نقى تجارى	1.75–
• سبيكة مغنسيوم (6% ألومنيوم، 3% زنك، 0.15% منجنيز)	1.6–
• زنك	1.1–
• سبيكة ألومنيوم (5% زنك)	1.05–
• ألومنيوم تجارى نقى.	0.8–
• صلب مطاوع (نظيف ولامع)	0.5– إلى 0.8–
• حديد زهر	0.5–
• رصاص	0.5–
• صلب مطاوع فى الخرسانة	0.2–
• نحاس، نحاس أصفر، برونز	0.2–
• حديد زهر عالى السيليكون	0.2–
• ترسيبات الصدأ على الصلب	0.2+
• الفحم، الكربون، الكوك	0.3+
هذه الجهود فى التربة المتعادلة والماء، مقاسة بالنسبة لقطر النحاس/ كبريتات النحاس القياسى.	

المنشآت المعدنية يمكن أن تكون تلك المغمورة فى أو ملتصقة بالتربة أو الماء، أو محتوية على الماء وسيتم مناقشة نوع واحد من الإنشاءات وهو خط المواسير المدفون. مع معرفة أن هذا مطبق على أى منشأ فى بيئة معينة.

الجهود التى نقابلها عادة تتراوح ما بين مليفولتات قليلة إلى عدة فولتات، وللحصول على قياسات جهد دقيقة مقابل قطب النحاس/ كبريتات النحاس أو أى قطب قياسى آخر فإنه يلزم استخدام جهاز قياس ذو حساسية عالية جداً فى حالة استخدام مقياس المليفولت أو الفولت ذو المقاومة العالية، فإن مقاومته يجب أن تكون لا تقل عن 50.000 أوم/ الفولت. المقاييس العادية متعددة الاختبار (Muti- test) لا يمكن استخدامها بما يكفى فى الأعمال المساحية للحماية الكاثودية. القراءات الأكثر دقة تتطلب أى من (Potentiometer – voltmeter Or Straight

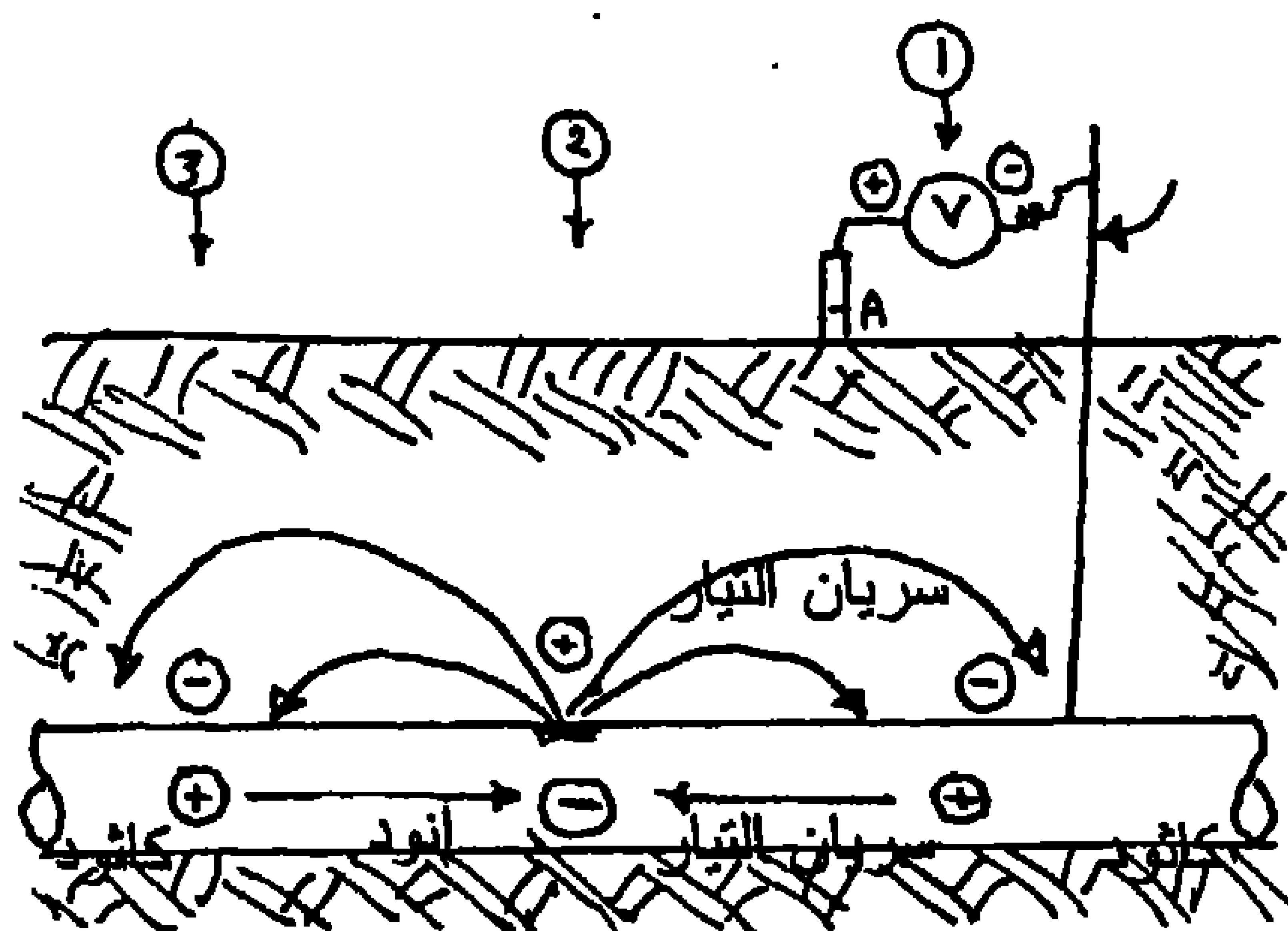
Potentiometer) فكلاهما هما أجهزة من نوع الإتزان (Balancing Type). يمكن كذلك استخدام الفولتميترات من النوع الأليكتروني للقراءة المباشرة.

ذلك المقياس الحساس ، الإضافة إلى قطبين القياسيين (عادة النحاس / كبريتات النحاس) ، وخوابير الاختبار الضرورية (Test / eads) وتجهيزات الالتصاق كل هذه هى أدنى معدات لازمة للأعمال المساحية للجهد.

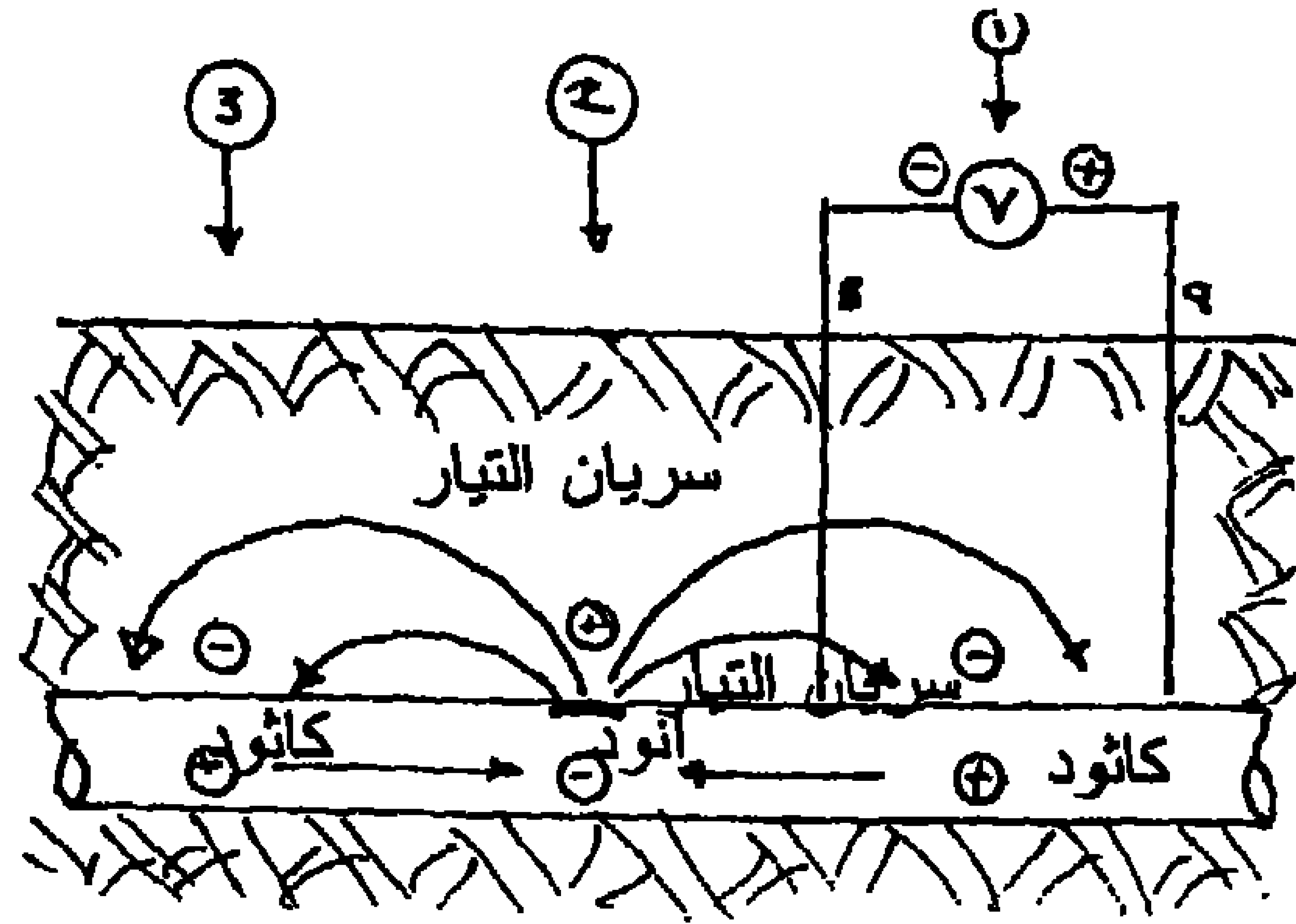
عند تنفيذ الأعمال المساحية، فإن المنشأ يتم التوصيل عند الجزء المرتفع (Risers)، خلال صناديق المحبس، أو باستخدام تجهيزة توصيل مثل خابور التوصيل. من المهم جداً تنفيذ توصيل منخفض المقاومة مع المنشأ المدفون . الطرف السالب للفولتميتر يتم توصيله خلال أسلاك توصيل مناسبة ملتصقة بخط المواسير ، الطرق الموجب يتم توصيله بقطب المعايرة . فى حالة استخدام قطب المعايرة من النحاس/ كبريتات النحاس فإن الماسورة سوف يظهر استقطاب سالب (Negative polarity) – وهذا موضح تخطيطياً فى الشكل (8/6). جهد المنشأ يتم أخذه مع الدفن الجيد للقطب فى التربة مباشرة فوق النشأ، يتم تسجيل الجهد ما بين الماسورة – التربة (P/S) . يتم تكرار هذه الطريقة على فترات مناسبة خلال كل النظام الجارى دراسة – المناطق ذات الجهد الأكثر سلباً تبين المناطق الآنودية أو التى تتآكل.

تدفق التيار أو فرق الجهد: IR Drop (Current flow

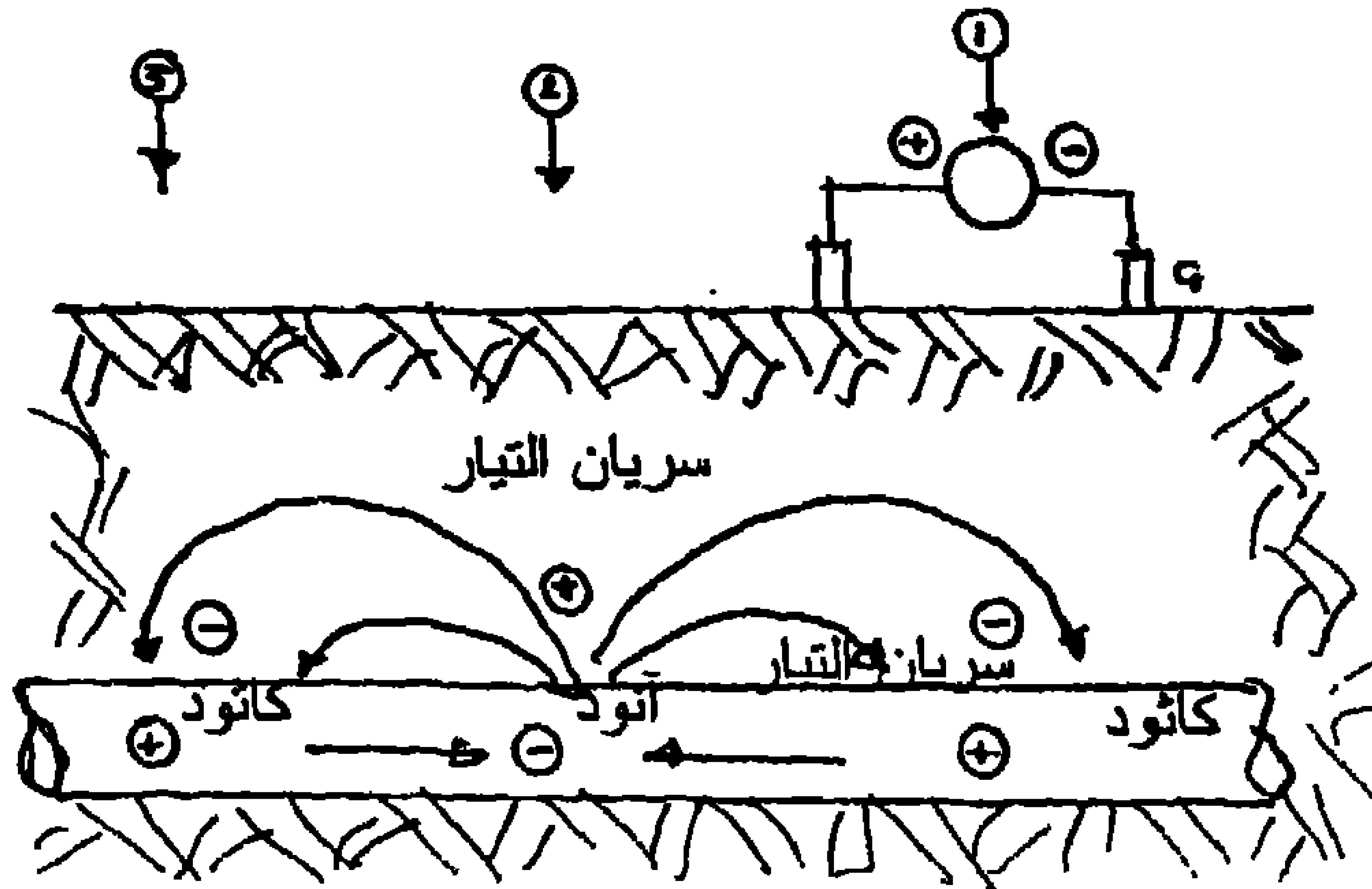
1- اتجاه سريان التيار المستمر فى المنشأ (خط الأنابيب) يمكن تعينه باستخدام القراءات المباشرة للفولتميتر أو البوتنشيوميتر.



شكل (8/6) مخطط قياس الجهد الماسورة التربة باستخدام محبس التصاق
لاحظ الاستقطاب فى التربة والماسورة . جهد الماسورة إلى التربة عند (1) ، (3) ستكون أكثر كاثودية (أقل سلبية) عن تلك عند الآنود (المتآكل) المنطقة (2).



شكل (8/7) مخطط يوضح طريقة سريان التيار لقياس لتعيين اتجاه وكمية سريان التيار. الجهد △ يقاس بين مجسى الالتصاق بواسطة فولتميتر منخفض المقاومة . سريان التيار فى الماسورة هو من + إلى لذلك الآنود سيكون عند أقصى نقطة سالبة من الماسورة.



شكل (8/8) طريقة تعيين التآكل بالجهد السطحى حيث القطبين متصلين بواسطة فولتميتر . يقاس الجهد بين القطبين. عند تحرك القطبين إلى الوضع . ستكون القراءة أكثر موجباً، مبينا منطقة آنودية أو تتآكل. عند تحرك الأقطاب إلى الوضع ستكون القراءة أكثر سلباً. وبذا تساعد فى تعيين مكان المنطقة الآنودية.

المساحة أو المكان حيث يسرى التيار من المنشأ إلى التربة يكون حيث يحدث التآكل.. يمكن التعرف والكشف على ذلك بملاحظة اتجاه وقيمة سريان التيار فى الماسورة. النقطة التى تصل عندها إلى أقصى قيمة وتعكس اتجاهها للسريان هى النقطة التى يحدث عندها التآكل. قيمة سريان التيار التى يمكن حسابها أو تقديرها من قراءات المليفولت ومقاومة الماسورة بين نقط الاتصال، توفر تقريب لما يحدث من فقد للمعدن فى العام.

يمكن أن يستمر حدوث التآكل فى عدم وجود سريان تيار مقاس فى المنشأ بسبب أداء الخلية الموضعية بين نقط الاتصال. لهذا السبب فإن قياس فرق الجهد أو تدفق التيار (IR Drop) فى المنشأ يكون مفيداً فقط فى تعيين مكان المناطق الآنودية الكثيفة. الطريقة موضحة فى الشكل (8/7).

نظراً لأنه قد يكون المطلوب القراءة الدقيقة حتى واحد مليفولت، فإن المقاومة لخوابير الاختبار والتوصيلات مع المنشأ يحب أن تكون منخفضة ، بما قيمته 1% مقارنة بالمقاومة الداخلية للفولتميتر.

عند معرفة مقاومة الماسورة، فإن سريان التيار يمكن حسابه من قانون أوم أى $I = E / R$.

حيث I = التيار بالأمبير

E = الجهد بالفولت

R = مقاومة الماسورة بالأوم (بين نقط التوصيل) .

فى حالة عدم معرفة مقاومة الماسورة الجارى دراستها ، فإنه يمكن تقديرها من الجداول التى تنشر لمختلف أقطار مواسير الصلب، أو أن يتم معايرتها فى الموقع وذلك بإدخال تيار معلوم خلال مقطع اختبار للماسورة وملاحظة فرق الجهد الناتج (IR Drop) .

2- حيث أن نفس التيار الذى يسرى فى الماسورة يجب كذلك أن يسرى فى التربة المجاورة، حيث الزيادة الأكبر فى مقاومة التربة تنتج قراءات مليفولت ذات قيمة أكبر كثيراً عن المستخدمة فى التربة ، تعديل التقنية يستخدم كثيراً على المواسير المدفونة

والغير مغطاة بطبقة حماية . وهذا يسمى الجهد السطحى (Surface Potential) أو المساحة بالقطبين (2 Electrode Survey).

المساحة الحقلية للجهد السطحى تتطلب مليفولتميتر أو بوتنشيوميتر – فولتميتر مع مفتاح عكس الاستقطاب (Polarity reversal switch) ، قطبين من النحاس/ كبريتات النحاس ومجسات اختبار مناسبة.

كذلك فإن طاقم الاستطلاع الكامل يجب أن يكون معه محدد لموقع الماسورة (Pipe Locator) ، ومقياس لمقاومة التربة بمحاذاة الماسورة ، ذلك لأنه مـــن المهـــم التوقف فى الحال فوق الماسورة لمعرفة مقاومة التربة عند الأماكن الآنودية. قطبى النحاس/ كبريتات النحاس ، والذى يجب المحافظة عليهم فى حالة جيدة بحيث يمكن القراءة فى خلال 2 مليفولت لكل منهما ، يتم وضعهم فوق الماسورة بفاصل بينهما بمسافة مناسبة، عادة 20 قدم ، ويتم قراءة فرق الجهد (بالمليفولت) واستقطاب القطب (Electrode Polanty) على العداد وتسجيلها. يتم عندئذ تحريك الأقطاب أسفل الخط 20 قدم، مع المحافظة على الفاصل بينهما. بهذه الطريقة فإن قراءات المليفولت واستقطاب القطب يتم تسجيلهم على الطول الكلى للخط الجارى دراسة المساحية.

الطريقة موضحة فى الشكل (8/8). يجب ملاحظة أن الجهود ما بين الماسورة – التربة ، رغم أنه يمكن الحصول عليها بسرعة عند أى نقطة حيث يكون ذلك مطلوباً وذلك بتوصيل الماسورة.

يتم التعرف على المساحات الآنودية والكاثودية عند نقطة عكس الجهد (Potential Reversal) . نظراً لأن المناطق الآنودية هى الأكثر أهمية، فإنه يمكن التعرف عليها أثناء عملية إجراء المساحة، قياسات مقاومة التربة، عادة مع قراءات مليفولت لجانب الصرف (Drain Side) ، يتم الحصول عليها فى نفس المكان. هذه سيتم الحاجة إليها فيما بعد بواسطة مهندس التآكل للتقييم السليم لمدى عدوانية المناطق الآنودية واختيار عدد وقطر الآنودات المطلوبة لعكس (Reversal) سريان تيار التآكل فى تلك النقط الساخنة.

قرار مهندس التآكل له أهمية بالغة فى توفير النجاح بهذه التقنية على آلاف الأميال من خطوط المواسير العادية.

قياسات مقاومة التربة (أو الماء) :

حيث أن سريان التيار إلى ومن الماسورة يحدث عموماً عند المساحات ذات أدنى مقاومة للتربة ، من المنطقى فرضية أن التربة ذات المقاومة المنخفضة يمكن أن تكون آنودية. عندئذ فإن هذه الطريقة تحدد فقط فرصة التآكل المرتبطة بمقاومة التربة وكذلك تحديد المكان الذى يمكن أن يحدث فيه التآكل. وهى لا تبين ما إذا كان التآكل يحدث حقيقة أو مدى سرعته.

التقنية هى واحدة لتحديد مقاومة التربة ، مقيم بطريقة صحيحة بالأوم سنتيمتر، عند مناطق سبق اختبارها باستخدام جهاز الأربع أقطاب (مثل Vibroground or Megger) أو المجسات ذات النقطة الواحدة (Single point probes) مثل (Agra Rod) القيمة الحقيقية للمقاومة فقط عادة ذات معنى قليل، الأهمية الأكبر للبيانات المساحية تقع فى الاختلافات فى قيم مقاومة التربة على طول الخط.

بعض الشركات اختارت 2000 أوم – سنتيمتر كقيمة الشك (Suspect) وهذا يعنى عند مقاومة أقل من تلك القيمة يتوقع حدوث تآكل حاد. كما يجب ملاحظة أنه يمكن حدوث التآكل الحاد كذلك على الماسورة العارية والغير مغطاة وذلك عند حدوث تغير حاد فى مقاومة التربة (مثال من 5000 إلى 50000 أوم–سم).

نتيجة الأعمال المساحية هذه يمكن أن تستخدم لاختبار المناطق حيث يتم تنفيذ إجراءات الحماية مثل طبقات التغطية والحماية الكاثودية.

الأعمال المساحية لمتطلبات التيار Gurren Requirements Surveys

الكمية الحقيقية للتيار المطلوب للحماية الكاثودية لمنشأ معين يمكن الوصول إليها بواسطة مهندس التآكل بعدة طرق. وهنا نعنى بالحماية الكاثودية أنها توفر الحماية التامة من التآكل (ويمكن تحقيقها باستخدام بعض القواعد المختارة مثل جهد – 0.85 فولت بالنسبة لقطب النحاس/ كبريتات النحاس وليس بطريقة الحماية للنقط الساخنة.

فى حالة وجود خط مواسير غير مغطى أو أى منشأ آخرفى التربة أو الماء ذو خواص عامة معينة ، فإن ذلك يمكن مهندس التآكل من تصميم الحماية الكاثودية بناءاً

على استخدام كثافة تيار يتم إخبارها (مليأمبير/القدم المربع) إلى المنشأ، شريطة أن يقوم بتوزيع التيار بطريقة مناسبة.

فى حالة المنشآت الضخمة العارية ، فإنه من الناحية العملية نادراً ما تستخدم بصفة مؤقتة كمية التيار المطلوبة للحصول على جهود الحماية ، لذلك فإن تصميم الحماية الكاثودية عادة يبنى على أساس كثافة. التيار التى سبق وصفها. فى المناطق حيث لا تتوفر الخبرة السابق (مثل الأنهار الملوثة ، الخلجان ، المياه المنتجة .. الخ) ،

فإن استخدام عينات الاختبار فى مجال من كثافات التيار المستخدمة لفترة زمنية عدة أسابيع أو عدة أشهر قد ساعد فى الوصول إلى كثافة التيار المناسبة التى على أساسها يبنى التصميم.

فى حالة المنشآت المغطاة، مع أخذ خط المواسير كمثال، فإنه يمكن عمل نقطة صرف لحماية كاثودية مؤقتة وتعيين كمية التيار المطلوب لحماية إما الخط كله فى حالة كونه قصير نسبياً وأن يكون معزولاً عن المنشآت الأخرى ، أو جزء مغطى من الخط. فى حالة الخطوط الطويلة فإنه قد يكون من الضرورى العديد من هذه الاختبارات ، وخاصة فى حالة وجود اختلافات كبيرة فى حالة طبقة التغطية و/أو مقاومة التربة فى مناطق مختلفة. يمكن استخدام تيار اختبار مؤقت بحوالى 10 أمبير ببطارية شحن وحتى 100 أمبير بواسطة مولد اللحام. الطبقة الأرضية المؤقتة المستخدمة لصرف تيار الاختبار فى التربة يمكن أن تكون أى منشأ موجود غير هام ليس متصلاً كهربياً بخط المواسير تحت الاختبار، مثل مقاطع المواسير أو قيسونات الآبار المهجورة والغير مستخدمة. فى كثير من الحالات يجب إنشاء طبقة أرضية (Ground Bed) مناسبة ومؤقتة لأغراض الاختبار من قضبان الصلب ، أو لفائف الألومنيوم، أو من الآنودات الحقيقية حيث يمكن تركها فى المكان لانشاءات ثابته فيما بعد أو أن تنشأ بالطريقة بما يمكن من قابليتها سحبها لإعادة الاستخدام. من المرغوب فيه وضع طبقات الاختبار على الأقل لصرف التيار الضخم. عند مسافة من خط المواسير تشبه لما هو متوقع لانشاءات الطبقة الأرضية الثانية فيما بعد.

الأعمال المساحية لقيسونات البئر لاستخدام الحماية الكاثودية قد تشمل عديد من التقنيات التى تم وصفها سابقاً. أداة تعيين الجهد على امتداد القيسون (Casing potential profile) التى تم شرحها فى الفصل الثالث ، تستخدم أولاً لتعيين المساحات الآنودية الكبيرة والمساحات الكاثودية ثم تأكيد تأثير تيارات الحماية الكاثودية المؤقتة المستخدمة عند رأس البئر.

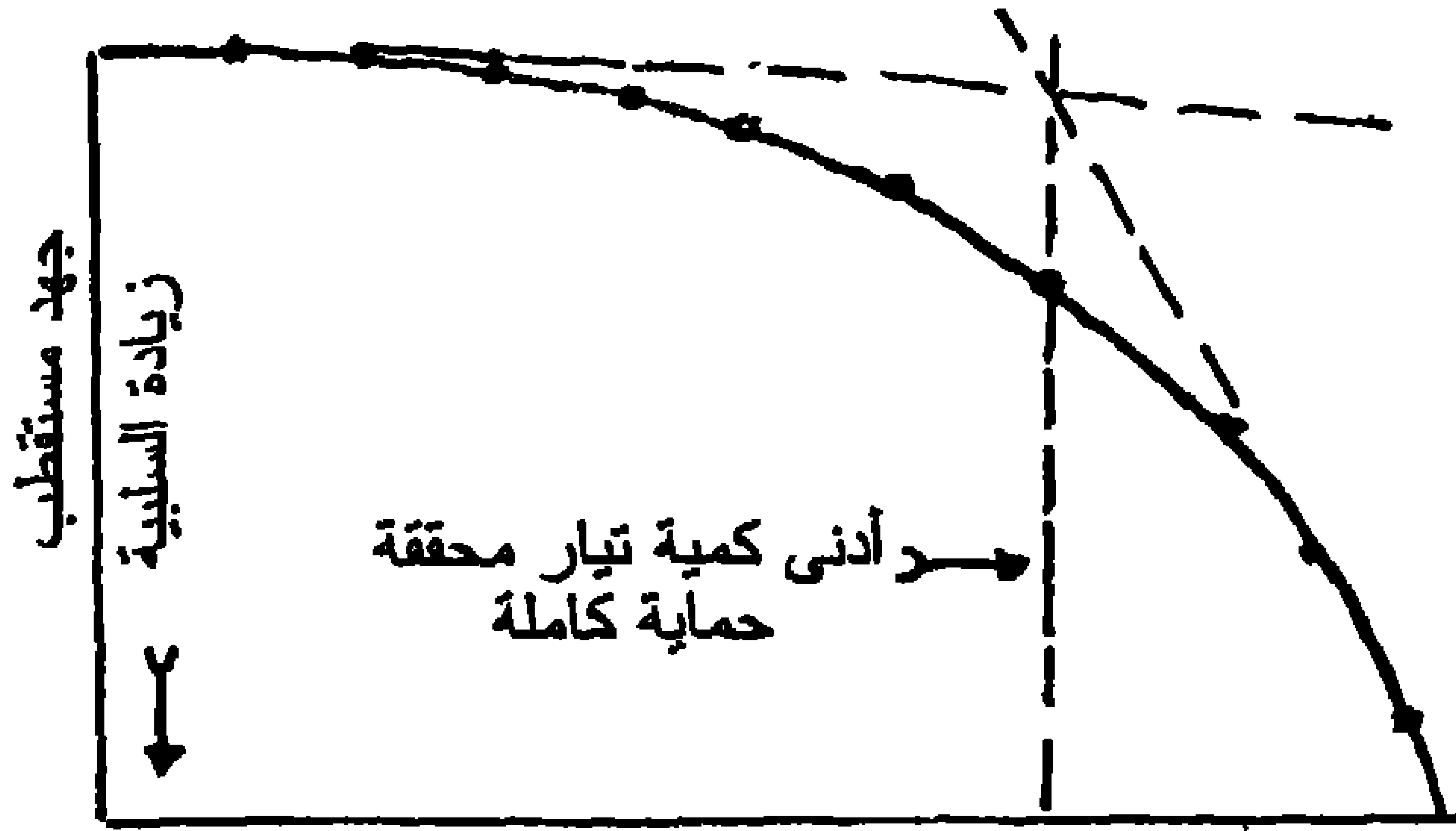
المنحنى شكل (2/11) يمثل السجل (Log) الذى يجب الحصول عليه عند استخدام التيار إلى القيسون من مصدر مؤقت. فى هذا السجل تم تحريك المنحنى الكلى نحو اليمين، والجزء الآنودى الأولى (A إلى B) يكون الآن كاثودى، مبيناً أن تيار الاختبار يكون داخلاً للقيسون عند كل النقط من القمة إلى القاع. كما تم ذكره سابقاً، هذه الأمثلة مثالية إلى حد ما وفى كثير من الحالات يمكن استخدام قيم مختلفة ومتعددة لتيار الاختبار وذلك قبل اختيار الكمية الصحيحة. للمحافظة على وقت التسجيل (بالإضافة إلى خفض الوقت لتسجيل بئر الزيت أو الغاز) ، تقديرات التيار المقدر (Predicted) تعمل كثيراً ، كما توجد تقنيات كثيرة مستخدمة لعمل هذه التقديرات. بعض الفنيين يستخدم كقاعدة عامة، كمية معينة من التيار لوحدة المساحة (الكمية النموذجية هى 1 أمبير لكل قدم مربع) للوصول إلى تقدير التأكيد بواسطة سجل الفولت (Voltage profile log) . والبعض الآخر يستخدم تقنية الـــ (E log I) التى سيتم وصفها فى الفقرة التالية لعمل تقديراتهم.

التقنية الأخرى لتعيين التيار المطلوب للحماية الكاثودية لقيسونات البئر والذى فى الاستخدام العادى يسمى الطريقة المساحية (E log I) .

أساساً تتكون هذه الطريقة من استخدام زيادة قليلة من التيار إلى قيـــسون البئر لفترات محددة من الوقت ، مثل دقيقتين أو ثلاث دقائق. بعد كل فترة زمنية من الوقت يتم فصل التيار ويتم الحصول على جهد لحظى "للدائرة المفتوحة" للقيسون بالنسبة لوضع جيد لقطب قياسى على السطح. عند توقيع هـــذه البيانـــات على ورقـــة شبـــه لوغارتمية تعطى منحنى مثل الموضح فى الشكل (8/9). من الاعتبارات النظرية التيار المعطى بواسطة تقاطع أجزاء خطين متقاطعين لهذا المنحنى (النقطة A فى الكل (9/ 8) ستبين التيار المناسب للاستقطاب أى لحماية القيسون. الاعتبارات أخرى وبسبب علاقة أفضل بتأثير التيارات المستخدمة على جهد القيسون الجانبى ، فلقد كان الأداء العادى استخدام

قيمة تيار للنقطة الأولى لتقع على جزء الخط المستقيم الثانى للمنحنى (النقطة B) فى تصميم نظم الحماية الكاثودية لقيسونات البئر.

معظم مهندس التآكل يقبلوا الحقيقة التى أقرت بأن متطلبات التيار المطلوبة لحماية قيسونات البئر ليست أى شىء مثل العلم الحقيقى. ولكن عدة آلاف من الآبار تم حمايتها بالطريقة الكاثودية على أساس مثل هذه البيانات ، مع الوصول إلى نتائج باهرة .



شكل (8/9) توقيع الجهود من القيسون البئر على ورقة شبه لوغاريتميه. موقعا قسمى الخطين المستقيمين يمكن من تعيين مكان ، . النقطة تبين قيمة التيار اللازم لحماية القيسون. النقطة تبين التيار المطلوب لاستقطاب القيسون.



الفصل التاسع

استخدام الحماية الكاثودية لمعدات إنتاج البترول والغاز

قيسونات البئر (Well Casings) :

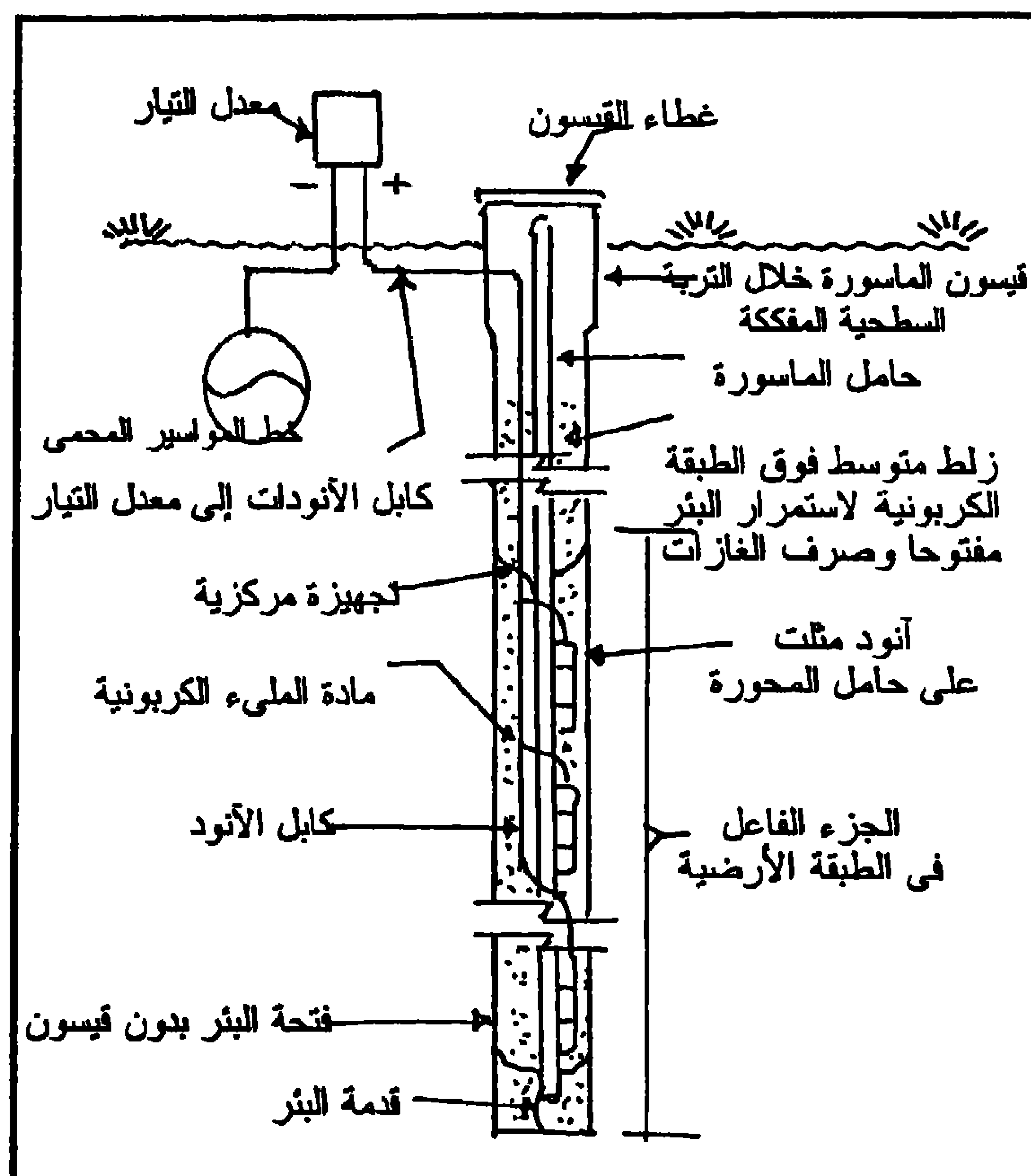
احتياجات التيار لقيسون البئر، مع قليل من الاستثناءات تقع فى المجال ما بين 1 إلى 25 أمبير. الاحتياجات الصغيرة يمكن مقابلتها باستخدام الأنودات الجلفنية (Galvanic Anodes) . فى كثير من الحالات، تكون مقاومة التربة مرتفعة جداً للأنودات الجلفنية ، حتى بالنسبة للتيارات الصغيرة، ويصبح نظام التغذية بالتيار التأثيرى ضرورى. بغرض الاعتبارات الاقتصادية ، عادة ينشأ وحدة واحدة من معدل التيار – الطبقة الأرضية (One Rectifier Ground Bed) وذلك للتعامل مع عدة قيسونات للآبار متصلين ، إما بعمل وصلات منفصلة سالبة لمختلف الآبار ، أو باستخدام خطوط التدفق (Flowlines) كموصلات للآبار. فى أى الحالات، فإنه يجب عزل قيسون البئر من خط التدفق. يمكن وضع مقاوم التحكم فى التيار (Current Controlling Resistor) عبر وصلة العزل هذه وذلك لصرف قليل من التيار من خط السريان إلى البئر (لتوفير بعض الحماية الكاثودية لخط التدفق ، حيث إبعاد أى تداخل كاثودى محتمل عليه) . البديل، يمكن صرف التيار من البئر إلى خط التدفق حيث استخدم الآخر كموصل للتيار العائد (Back) إلى الوصلة السالبة لمعدل التيار (Rectifier – ve Pole) . فى كثير من المناطق، فإن مقاومة التربة ، حتى مع معدلات التيار، تصميم طبقة أرضية اقتصادية لإنتاج التيار المطلوب بفولت مناسب تكون مشكلة. حيث الطبقة تحت السطحية تكون ذات مقاومة أقل ، فإنه يصبح أحياناً استخدام طبقات أرضية من نوع البئر اقتصادى، حيث كل الأنودات تكون موضوعة واحد فوق الآخر فى حفرة عمودية من 6 إلى 8 بوصة. مثل هذا الإنشاء موضح فى الشكل (9/10) كما يستخدم إما لخط المواسير أو لقيسون البئر (خط مواسير عمودى).

تظهر مشكلة ضبط معدل التيار (Rectifier) عند حماية عدد كبير من قيسونات الآبار فى الحقل حيث مقاومة سطح الأرضية إلى التربة قد تتغير أساساً مـــع تغيــر رطوبة التربة. وقد أدى هذا إلى زيادة الاستخدام لنوع معدل التيار "التيار الثابت" (Constant Current Type Rectifier) فى إنشاءات الحماية الكاثودية لقيسون البئر. تصمم هذه الوحدات بحيث، أنه خلال مجال مناسب لمقاومة الطبقة الأرضية، فإن معدل التيار يقوم آلياً للتعويض بالنسبة لزيادة مقاومة الدائرة والمحافظة على خرج التيار للوحدة الذى سبق

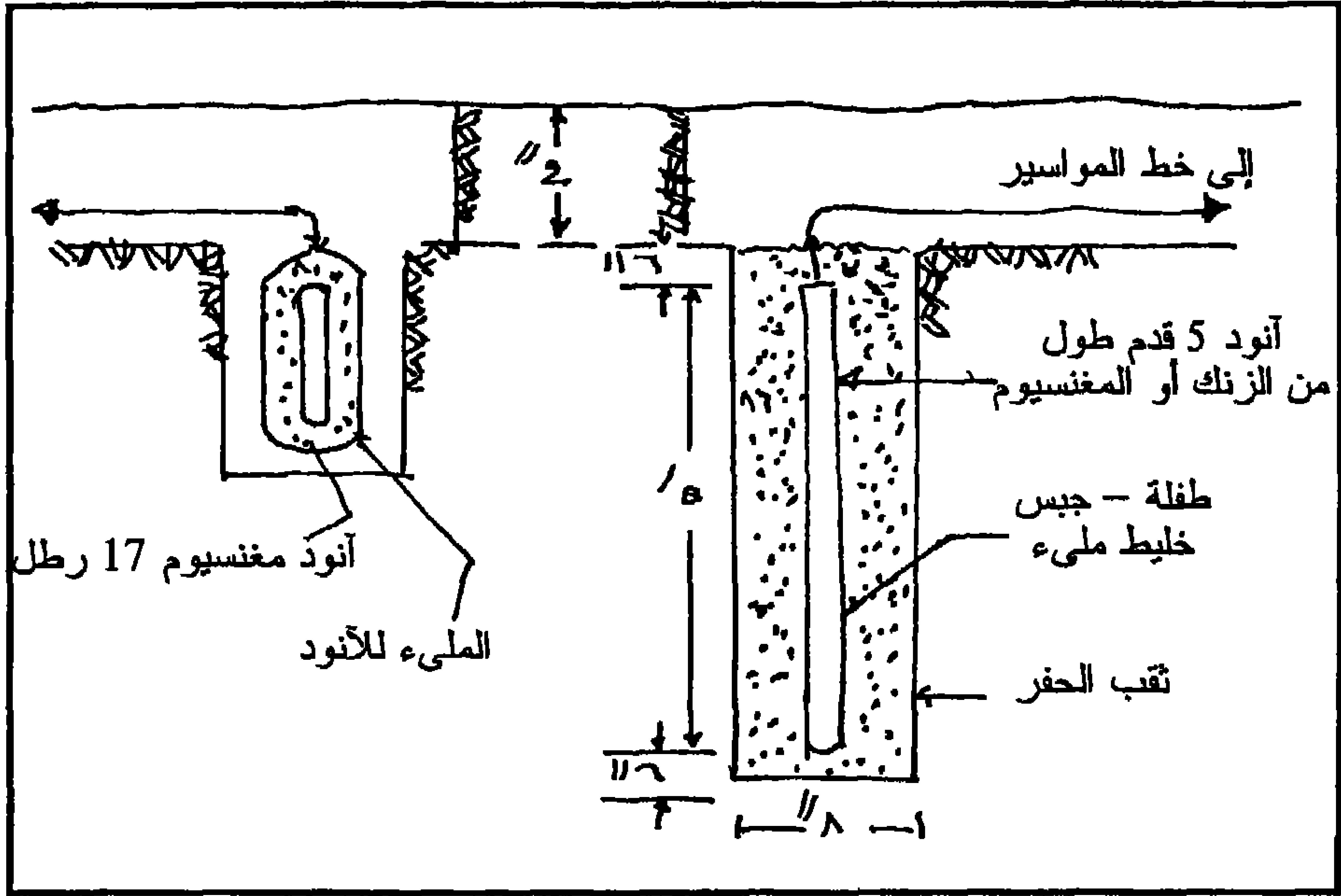
إختياره. هذه الظاهرة ليست مطلوبة عادة مع الطبقات الأرضية من نوع الطبقة الأرضية للبئر (Well type ground bed) ، والتى تتأثر قليلاً بحالات رطوبة السطح.

خطوط المواسير : (Pipelines)

فى حالة التغطية الجيدة بمواد الحماية لخط المواسير وأن لا يكون طويلاً جداً، فإن التيارات اللازمة ستقع عادة فى المجال حيث إنشاءات الآنوادت الجلفنية، منفردة أوفى مجموعات، وتلك هى الطريقة العملية لعمل الحماية الكاثودية ، الشكل (9/11) الخطوط الحقلية العارية والغير مغطاة بطبقة الحماية قد لا تبرر الحماية الكاثودية عدا فى الحالات شديدة العدوانية. حيث يمكن إما إعادة تأهيلهم ، وتغطيتهم ووضعهم تحت الحماية الكاثودية الكاملة كما سبق ذكره، أو أن يتم عمل المساحة الحقلية لهم الجهد السطحى الجانبى (Surfale potential profile) بتقنية القطبين (2 Electrodes) ثم يلى ذلك وضعهم تحت حماية "النقط الساخنة" بالآنودات الجلفنية. معرفة مناطق الصرف أو النقط الساخنة يمكن أن يكون كافياً باستخدام عدد محدود من إنشاءات الآنود الجلفنى. معظم خطوط النقل والتوصيل الهامة يتم إجراء المساحة العادية لها ثم حماية النقط الساخنة، إذا كانت عارية ، أو توضع تحت الحماية الكاثودية الكاملة إذا كانت مغطاة بطبقة حماية. غالباً فإن الخطوط المنشأة الجديدة ذات أى أهمية تكون مغطاة جيداً، بما يجعل مهمة الحماية الكاثودية الكاملة اقتصادية جداً وبسيطة نسبياً. أى خط مواسير يكون مطلوب حمايته كاثودياً يتم عزله كهربياً (وذلك باستخدام فلنجات عزل، وصلات مقلوظة الطرفين، (Unions, Flanges, Coupling or Nipples بحيث أن يكون تيار الحماية الكاثودية مخصص فقط للمنشأ المطلوب من أجله. حتى أن وسيلة معدنية واحدة لقيسون البئر كمثال، ليست تحت الحماية الكاثودية سوف تسبب فقد كبير للحماية على خط المواسير ويرجع ذلك إلى حيود تيار الحماية الكاثودية نحو القيسون ، والذى أصبح جزءاً من دائرة الحماية الكاثودية.



الشكل (9/10) تصميم الطبقة الأرضية للبئر العميق باستخدام الآنودات والحشو الكربونى فى البئر المفتوح.



الشكل (9/11) نموذج لإنشاءات الآنود

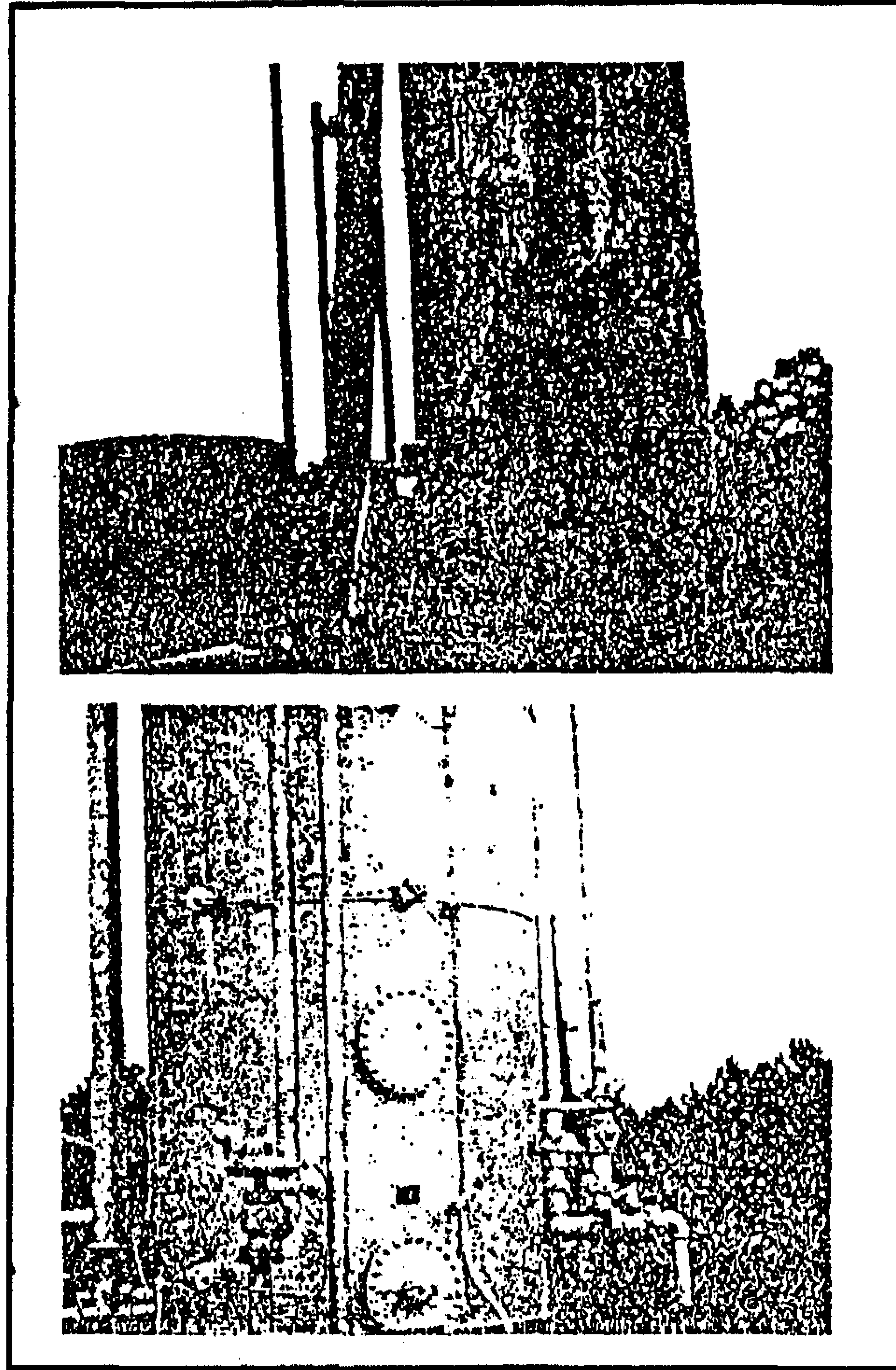
الأوعية والمعدات السطحية : Surface Equipment and Vessels

هذه المعدات مثل خزان إنتاج وصرف المياه المالحة، المعالجات الحرارية (Heat – Treaters) ، أوعية أو صهاريج التجميع (Accumulators) ، أجهزة الفصل (Separators) والمرشحات تكون معرضة للتآكل بفعل المياه المالحة المنتجة. درجات الحرارة المرتفعة مع وجود البكتريا المختزلة للكبريتات فى كثير من الحالات، يؤدى إلى قصر عمر المعدة وذلك فى حالة عدم استخدام الحماية الكاثودية. وهذا واقع كما هو متوقع بالنسبة لماسورة اللهب فى المعالجات الحرارية حيث يحدث التلف بفعل التآكل فى خلال ثلاث شهور فى حالة عدم الحماية.

الشكل (9/12) يوضح معالج حرارى (Heat Treater) تلف بفعل التآكل الداخلى للمياه المالحة، وكذلك الذى تم حمايته كاثودياً واستمر فى الخدمة حتى 7 سنوات.

كثافات تيار الحماية النموذجية هى فى المجال ما بين 5 إلى 10 مليأمبير/ القدم المربع، واختيار مصدر التيار هو أساساً طبقاً لتوفر مصدر التيار المتغير. أحياناً

استخدمت المولدات للتيار المستمر أو (Alternators) (مع وجود جهاز معدل التيار Rectifier) محمل على وحدة الضخ.



شكل (9/12) (A) معالج تسخين غير محمى (B) معالج تسخين محمى كاثودياً بعد 7 سنوات.

عند توفير مصدر التيار المتغير، يمكن استخدام معدل التيار لحماية وعاء أو أكثر من وعاء ، باستخدام آنودات الجرافيت أو التيتانيوم المغطى بالبلاتين (Pr-ri) التى تنشأ خصيصاً خلال حاملات الحائط (Through the wall mounts) . آنودات التيتانيوم المغلف بالبلاتين تكون صغيرة جداً ويمكن ازلاجها داخل أو خارج الحامل بينما يظل

الإناء فى العمل. ولكن مثبطات معينة وكاسرات المستحلب تعمل على إعاقة سريان التيار من منطقة بلاتينية صغيرة نسبياً (فقط 6 بوصة × ¾ بوصة للقطر حيث قضيب التيتانيوم المغطى بالبلاتين) حيث يجب عمل الأبحاث مقدماً لأى تجهيـزات ضخمـة لمثل هذه الآنودات. بينما تعانى آنودات الجرافيت بعضا من خفض الخرج لنفس الأسباب، فإن المساحة الأكبر توفر تحقيق سريان مناسب للتيار فى كل ولكن فى حالات نادرة جداً. يمكن استخدام آنودات حديد الزهر عالى السيليكون المقاوم للكلور عند إعاقة الجرافيت بتشبع الزيت.

عندما لا يتوفر مصدر طاقة كهربية ترددية (AC) ، فإنه يمكن توليد تيار الحماية إما بآنودات المغنسيوم أو الألومنيوم مثبته خلال الجدار بنفس طريقة وضع آنودات الجرافيت. فى هذه الحالة ، فإن دائرة الآنود الجلفنى تكون قد اكتملت خارجياً بسلك تخطى أو عبور (Jumper Wire) نحو حائط الإناء المجاور، بحيث يمكن قياس سريان التيار وضبطه لكل آنود مستقل عند نقطة تثبيته. نظراً لأن المغنسيوم شديد النشاط فإن خرج التيار منه إلى الإناء يجب أن يقيد تماماً لتجنب الحماية الزائدة التى لا تعود بفائدة. ولكن هذا ينتج عنه خفض كبير فى كفاءة الآنود ذلك لأن الآنود سيستمر فى التآكل عند نفس المعدل تقريباً وجزء صغير فقط من تيار تآكله يكون مستخدماً فى حماية الإناء . آنود الألومنيوم يوفر خرج أقل كثيراً ولكن لا يزال مناسب فى المياه المالحة لحقول الزيت ، حيث المحافظة على كفاءة التيار بنسبة 60 – 70% . المتبع فى سطح الأوانى ، هو البناء لوضع آنود الألومنيوم للحماية، بينما يتم مسمرة (Bolted) واحد أو أكثر من الأنودات على شكل كمرة (Slabshape) معاً، طبقاً لعمر النظام المطلوب . يتم عندئذ وضع الحزمة فى الطوب الحرارى أو تعليقها على حوامل داخلية فى كل غرفة. يتم عمل وصلة كهربية باستخدام سلك نحاس معزول إلى الأرض على لوح التغطية ، بحيث يمكن عمل نموذج للإنشاء بدون فصل الغاز من النقط الخام للإناء (Degassing the vessel) . لقد أظهرت آنودات الزنك الميل نحو أن تكون مخنوقة (Throttled) فى بعض المياه المنتجة ، بنفس الأسلوب ولنفس الأسباب كما ذكر سابقاً بالنسبة لآنود البلاتين – التيتانيوم.

آنودات الألومنيوم والمغنسيوم يبدو وأنها لا تتأثر كثيراً ويمكن استخدامها عادة حيث لا يمكن استخدام الزنك.

آنودات الزنك لا يتم استخدامها فى المياه المنتجة (Produced waters) عند درجة حرارة أعلا من العادية عدا فى حالة أن الاختبارات فى الماء تحت ظروف التشغيل أثبتت أنها مناسبة. الزنك يقوم بعكس الاستقطاب (Reverse polarity) مع الصلب فى كثير من أنواع الأليكتروليت عند درجات الحرارة المرتفعة وبسبب التآكل وليس الحماية ضد التآكل.

خزانات المياه المالحة يتم حمايتها عادة من التآكل الداخلى بالحماية الكاثودية فقط، أو بكل من طبقة البطانة الداخلية والحماية الكاثودية. فى حالة استخدام طبقة البطانة للتغطية الداخلية ، فإنه يجب الحرص نحو عدم استمرار الجهد العالى جداً عبر طبقة البطانة والذى يمكن أن ينتج عنه تشقق وتلف شديد بطبقة البطانة. وهذا بالتحديد يسهل عمله مع الضبط الخاطئ لمعدل التيار (Rectifier) . ولكن حتى أن آنودات المغنسيوم سوف توفر جهود ضارة إلا إذا تم التحكم المناسب فى خرج التيار. ثانياً، الألومنيوم مع جهده المنخفض يوفر تيار حماية أمن وأكثر من مناسب كمصدر لتيار الحماية للأوانى المغطاة بطبقة حماية.

كلاً من آنودات الجرافيت والآنودات الجلفنية يتم تعليقهم من سقف الخزان خلال وسيلة تعليق بالسقف خاصة. الآنودات يمكن اختبارهم واستبدالهم بمثل هذا التنظيم.

القيعان الخارجية لخزانات الإنتاج والتخزين تكون ملتصقة بالتربة والتى حتى ولو كانت غير عدوانية ، فإنها تصبح عدوانية بسبب طرطشة وتسرب الماء المالح. لذلك يجب إعطاء الاهتمام لحماية القاع الخارجي ، إما بالآنودات الجلفنية الموضوعة فى التربة حول الإناء أو بإنشاءات التيار المسلط. فى حالة الإنشاءات الصغيرة يكون أحياناً من الممكن تصميم نظام حماية كاثودية لكل من الحماية الداخلية والخارجية باستخدام معدل تيار واحد. فى حالة النظم الضخمة، يفضل استخدام نظم حماية كاثودية منفصلة بسبب مشكلة

التحكم فى التيار بين الدوائر ذات المقاومة المختلفة بدرجة كبيرة حيث يستخدم تيار أضخم.

بينما أن المياه العذبة لا تكون عدوانية مثل المياه المالحة، فإن معدات معالجة المياه التى تتداول المياه السطحية يجب حمايتها من التآكل لتأكيد استمرار العمل. كما أن الجمع بين التغطية للسطح بطبقة حماية مع الحماية الكاثودية يمكن أن يكون مؤثر بنسبة 100% لحماية الأسطح المغمورة لهذه المعدات. عدا فى حالة أن الماء موصل بدرجة مناسبة، فإنه سيكون المطلوب لتوفير تيار حماية كافى نظام تيار مسلط باستخدام آنودات الجرافيت أو آنودات السيلكون – الحديد. يجب الحرص عند وضع الآنودات لتوفير التوزيع الجيد للتيار لكل أسطح المعدة المعمورة فى الماء، وخاصة عند احتوائها على غرف داخلية وعوائق.

خزانات حفظ الزيت :

الحماية الداخلية :

نظراً لأن طبقة الماء والرواسب الموصلة عند قاع الخزان تكون ضحلة إلى حد ما، لذلك فإن الحماية الكاثودية للقاع الداخلى للخزان تكون أكثر صعوبة عن كون الخزان ممتلئ جزئياً بالماء. لهذا السبب الحماية الكاثودية الداخلية لخزانات الإنتاج فى حقول البترول لا تستخدم أحياناً. ولكن فى حالة الخزانات الضخمة والأكثر أهمية فى النهايات وفى معامل التكرير فإن الآنودات الجلفنية الموزعة على القاع على وسادة أو قاعدة معزولة استخدمت حيث أعطت نتائج ممتازة. يحدث هذا عندما يكون من الممكن المحافظة على طبقة مياه بعمق 6 – 12 بوصة لتوفير ممر جيد لتيار الحماية والذى ينتشر من خلاله بين الآنودات. أنودات المغنسيوم، الزنك والألومنيوم استخدمت لهذا الغرض ، حيث الألومنيوم له ميزة العمر الأطول للأسباب التى تم ذكرها.

الحماية الخارجية :

عندما تكون التربة معروفة أو يتوقع أن تكون عدوانية (من مقياس المقاومة) فإن الحماية الكاثودية للقاع الخارجى للخزان يكون مبرر باستثناء أن الخزانات تم بناءها على

طبقة من الصخر المطحون النظيف والتى تعزل القاع عن التربة أسفل هذه الطبقة. عادة لا يعتمد على الملئ بالرمل بتشبع أو بدون تشبع الزيت فى حالة وجود التصاق جيد مع المياه الأرضية فى نقطة واحدة أو أكثر، كتل الطفل أو التربة المحلية نفسها، فإنه يمكن حدوث التآكل السريع واختراق الصلب بسبب تأثير خلايا التآكل الموضعى السريع.

بينما الخزانات الصغيرة أو مجموعات الخزانات يمكن حمايتها بنجاح بالآنودات الجلفنية، فإن الأجراء العادى هو إنشاء وحدات تعديل تيار ضخمة (Large unit) Rectifier بالاتصال مع طبقات موزعة من آنودات الجرافيت أو السيليكون لتوليد وتوزيع الكميات المقدرة من التيار المطلوب للحماية الكاثودية لهذه المساحات الضخمة من الصلب. كثافة تيار واحد ملي أمبير على القدم المربع (I m A/ Sq ft) عاده تكون مناسبة ، فى حالة التوزيع الجيد للتيار.

تظهر مشكلة عند قياس تأثير استخدام الحماية الكاثودية، ذلك لأن جهد الخزان عند الأطراف عادة لا يمثل الجهد الحقيقى عند مركز الخزان . لهذا السبب ، يكون من المفضل حمل جهد 0.05 إلى 0.1 فولت (أكثر سلباً) عن الأدنى – 0.85 فولت عند الحافة، وذلك لضمان تأكيد أن المساحة فى المنتصف ستكون قريباً من – 0.85 فولت.

عند إنشاء خزانات جديدة فإنه يمكن وضع نصف بطارية ثانية قياسية فى شكل آنود زنك صغير مغلف على عمق 6 بوصة أسفل قاع الخزان قرب المنتصف. سلك التوصيل يتم امتداده إلى الخارج إلى صندوق اختبار عند حافة الخزان، حيث الجهود بين الخزان – الزنك يمكن قياسها بمجرد استخدام الحماية الكاثودية. نظراً لأن الزنك يوفر حوالى – 1.1 فولت مقاسه إلى القطب القياسى نحاس/ كبريتات النحاس، فإن جهد الخزان إلى الزنك يمكن تحويله سريعاً إلى قراءات الخزان إلى النحاس/ كبريتات النحاس بدقة كافية لتوفير تقييم تأثير الحماية الكاثودية عند مركز الخزان.

قريباً تم تطوير خزانات تخزين تحت الماء. هذه تكون معرضة للتآكل الداخلى والخارجى بفعل مياه البحر. نظراً لأنها أساساً منشآت بحرية فإن حمايتها سيتم مناقشتها عند تناول الحماية للمعدات فى مياه البحر كالآتى :

منشآت الحفر والإنتاج البعيدة عن الشاطئ (فى البحر) :

فى صناعة البترول تنفق استثمارات ضخمة لإنشاءات الحفر فى البحر بعيداً عن الشاطئ وإنشاءات الإنتاج ، سواء الثابتة أو الطافية (المتحركة) ، بما فيها النهايات البحرية بمختلف أنواعها ، تآكل تلك الإنشاءات كان مشكلة مكلفة ، حيث تم تكثيف الجهود لخفض هذا التآكل وتطوير نظم مقاومته.

يمكن تقسيم التآكل للمنشآت فى عرض البحر إلى أربعة مناطق للتآكل. هذه المناطق الموضحة فى الشكل (22/23) تتطابق إلى حد ما خلال نفس المنطقة. هذه المناطق الأربع هى:

1. منطقة الطفلة أى الجزء من المنشأ أسفل قاع البحر.
2. المنطقة أو المنطقة أسفل سطح الماء، حيث يكون المعدن مغطى دائماً بالماء (المحتوى من الأكسجين منخفض أسفل 25 قدم، مرتفع أعلا من 25 قدم).
3. منطقة الطرطشة ، فوق خط المياه ، حيث يظل سطح المعدن مبتلاً بفعل الموج.
4. المنطقة الجوية، حيث يبدو المعدن جاف فى معظم الوقت.

فى المنطقة المغمورة بمياه البحر (أى المنطقة – تحت الماء) فإن التآكل يكون عموماً منتظم بمعدل 5 مليمتر فى العام باستثناء منطقتين. وهما الموجودة أسفل متوسط خط المد والجزر مباشرة والثانية هى المنطقة الموجودة فوق خط الطفلة. التآكل السريع فى كلا هاتين المنطقتين يرجع إلى التغير فى محتوى الأكسجين.

عند السطح البينى (Interface) ، والذى ينتج عنه خلية اختلاف التهوية . أى فعل للحك أو الكشف (Scouring) بفعل الرمال أو الطمى عند خط الطفلة ، بفعل الموج أو تيار الماء، سيسبب زيادة التآكل بفعل الاحتكاك. وهذا يسمى التآكل بفعل الاحتكاك (Erosion – corrosion) .

الحماية الكاثودية يمكن أن تكون مؤثرة بنسبة 100% فى مقاومة التآكل فى مناطق الطفلة والمناطق المغمورة. التلف للمنشآت البحرية يمكن أن يكون حاداً فى منطقة الطرطشة، كما هو متوقع. هنا فإن أداء البلل والغسيل بفعل الأمواج يحافظ على معدل

التآكل عند أقصاه ، تقشر لنواتج التآكل التى تتكون ويزداد سمكها. حد الارتفاع لمنطقة الطرطشة يتوقف على مجال المد والجزر وارتفاع الموجة. الاتجاهات الحديثة تميل إلى زيادة سمك الصلب زائد نظام تغطية ممتاز أو التغطية بشرائح من سبيكة النيكل النحاس (البرونز) للحماية من التآكل فى هذه المنطقة، حيث الحماية الكاثودية فى أحسن الظروف تكون مؤثرة جزئياً فوق. منطقة الطرطشة.

المنطقة الجوية تبدو جافة، ولكن توجد دائماً طبقة من الملح على هذه الأسطح. الليل هو الوقت لمعظم نشاط التآكل فى هذه المنطقة. عند برودة المنشأ ليلاً وزيادة الرطوبة فإن هذا الملح يمتص الماء من الهواء حيث يغطى السطح بطبقة ملحية من الرطوبة. الشمس تعمل على جفاف طبقة الرطوبة وتقلل معدل التآكل. نواتج التآكل تميل إلى التقشر فى شكل صفائح وهذا التقشر الغير منتظم للصدأ ينشط لتآكل التقبى. عموماً يكون التآكل التقبى أعمق فى الجانب السفلى المظلل من المنشأ عنه فى السطح العلوى الذى يجف بفعل الشمس. يتم مقاومة التآكل باستخدام طبقات التغطية لهذه الأسطح . نظم الحماية الكاثودية للمنشآت البحرية يمكن أن تكون من نوع التيار المسلط أو الآنود الجلفنى ، وذلك طبقاً لمدى توفر مصدر التيار المتغير ومدى سهولة الصيانة لأى من النظامين. نظم التيار التأثرى تستخدم معدلات التيار (Rectifiers) ذات معدل خرج كبير لخفض العدد والمساحة التى تشغلها تلك الوحدات. مادة الآنود الأكثر استخداماً هى سبيكة الرصاص (6% أيتمون، 1% فضة) والتى توفر معدل استهلاك 0.1 رطل/ أمبير × العام. مواد آنود أخرى التى استخدمت مع بعض النجاح هى آنودات الرصاص- البلاتين، الجرافيت، سبيكة السيليكون – الحديد – الكروم. سبائك الرصاص – الأنتيمون- الفضة يمكن إما أن تعلق أو توضع فى ماسك خاص للارتباط الجيد بأعضاء المنصة تحت الماء . النظم العالقة تكون أكثر حساسية إلى حد ما للتلف الميكانيكى ، ولكنها بسيطة فى الإنشاء وسهلة فى الصيانة.

تقريباً كل نظم الآنود الجلفنى المنشأة على المنشآت الجديدة تستخدم آنودات الألومنيوم لأغراض اقتصادية. يمكن اختيار الآنودات لعمر 5 ، 10 ، 20 عام ، حيث نظم العمر القصير يكون للأجهزة والآلات المتحركة حيث يكون . من السهل الاستبدال. المنشآت

الثابتة سيكون لها نظم 10 سنوات أو 20 عام مرتبطة فى المساحة المصنعة. آنودات المغنسيوم المعلقة يكون استخدامها مفضل حيث نظم العمر القصير، عادة 1.5 إلى 2 عام. هذه أحياناً تتحول إلى نظم 10 سنوات باستخدام آنودات الألومنيوم بإنشاء الغطس.

وحدات تخزين الزيت تحت البحر تستخدم على نطاق واسع مع تحرك إنتاج الزيت إلى مناطق أعمق وبعيدة عن الشاطئ. هذه عادة مع منشآت الحفر الغاطسة، تحتاج إلى الحماية الداخلية وكذلك الحماية الخارجية. صعوبة استمرار التوصيلات الكهربية وخدمة آنودات التيار المسلط داخلياً قد أدى إلى استخدام آنودات الآلومنيوم الجلفنية للحماية الكاثودية للأسطح الداخلية. الحماية الكاثودية الخارجية يمكن أن تكون إما من نوع التيار المسلط أو الآنود الجلفنى طبقاً للظروف المحددة.

أرصفة الميناء (Docks) ، الأرصفة البحرية (Piers) ، أرصفة السفن الممتدة فى البحر (Jetties).. الخ يحدث لها أحياناً تآكل حاد، حتى فى المياه العذبة إذا كانت متدفقة. هنا فإن وجود مصدر طاقة كهربية من تيار متغير يؤدى إلى إمكان استخدام الحماية الكاثودية بالتيار المسلط . فى المناطق العدوانية المعروفة ، وخاصة حيث كثافة التيار للحماية الكاثودية تكون أعلا من العادى بسبب المياه الملوثة ، فإنه يتوفر سبب اقتصادى لتغطية مكونات الهيكل من الصلب أو ألواح الدعائم الساندة من الخوازيق (Sheet Piling) لمثل هذه الإنشاءات قبل الإنشاء الحقيقي. أنودات التيار المسلط يمكن أن تكون من أى من الأنواع التى سبق الإشارة إليها، مع استخدام محولات التيار ذات التيار المتواصل (Constant current) حيث تتوفر ملوحة المياه. بسبب التغير فى العوامل المتعددة التى تؤثر على تصميم الحماية الكاثودية لمثل هـذه الإنشاءات ، فإن تصميم النظام يتطلب القرار والتحكم الجيد. مخاطر الشرر الناتج عن الجهد عند ارتباط المنشأ المحمى بالأوانى الغير محمية الحاملة للبترول أو المنتجات البترولية يجب أن تؤخذ فى الاعتبار.

دراسة بعض حالات الحماية الكاثودية للصلب فى مياه بحر الشمال :

تنظم متطلبات الحماية الكاثودية لتوفير كثافة التيار الكافية لكل المكونات الغاطسة والمدفونة وذلك لمنع التآكل بدون الحماية الزائدة التى تؤدى إلى انخفاض حد الكلال أو الارهاق (Fatigue Limit) .

* **متطلبات الجهد :**

فى مياه البحر النظيفة المهواة وعند درجة حرارة حوالى 25ْم، تكون الحماية المقبولة عموماً عند جهد لمنطقة التلامس ما بين الصلب/ ماء البحر أكبر من 0.8 فولت مقاسه لقطب قياسى (الفضة / كلوريد الفضة)، وذلك رغم أن القيم ما بين -0.78 فولت إلى -0.91 فولت مقاسة بقطب فضة/ كلوريد فضة قد وردت فى بعض المصادر العملية. فى الظروف اللاهوائية كما فى حالة التجهيزات المغلفة أو فى الطمى ، فإن القيم أعلا من -0.1 فولت تكون مقبولة عموماً. التصميم الحذر يجب أن يحدد أقصى سلبية للجهود السطحية ما بين الصلب وماء البحر إلى -1.1 فولت مقابل

قطب (Ag / Ag Cl) إلا أن بعض نظم التيار المسلط ينتج عنها جهد مقاس ظاهر وصل حد السلبية له إلى -1.3 فولت مقابل قطب الفضة/كلوريد الفضة بدون حدوث تلف. كذلك توجد بيانات متضاربة حول تأثيرات درجات الحرارة وانسياب الحرارة على كل متطلبات الجهد للصلب/ ماء البحر للحماية وكذلك كثافات التيار المطلوبة للحصول على مستويات الحماية هذه.

جدول (9/1) الجهود الموصى بها لحماية منصة من الصلب ثابتة فى مياه البحر

حالة المعـــدن	القطب القياسى (بالفولت)		
	$Cu/CuSO_4$	Ag/AgCl	Zinc
الصلب في مجال هوائي الحد الموجب الحد السالب	0.85- 1.1-	0.8- 1.05-	0.25+ + صفر
الصلب في مجال لا هوائي الحد الموجب الحد السالب	0.95- 1.1-	0.9- 1.05-	0.15+ +صفر
الصلب عالي القوة، حيث أقصى إجهاد شد 700 نيوتن على المليمتر المربع الحد الموجب الحد السالب	0.85- 1.0-	0.8- 0.9-	0.25 + 0.1 +

لقد أوصت جمعية التقسيم (Classification society) بالنسبة لمتطلبات جهد الصلب/ الإليكتروليت، حيث تم تلخيصها فى الجدول (9/1). ولكن يجب معرفة أن هذه اختيارية وأن كانت أفضل بيانات متاحة.

للحماية الكاملة لمنشأ من الصلب مثبت فى البحر فإن كل المساحات أسفل منسوب المياه تتطلب الحماية بالجهد الصلب/ الإليكتروليت المناسب خلال كل عمر الخدمة للمنشأ، وهذا يعنى الحصول على الجهود المناسبة عند كل الأماكن على المنشأ حتى فى ظروف العواصف فى السنين الأخيرة للعمر التصميمى.

منسوب متطلبات التيار: للحصول على هذه المستويات من الجهد الصلب/ الإليكتروليت فإنه يلزم التوزيع الجيد لسريان التيار من آنودات الحماية الكاثودية على كل المساحات للمنشأ. هذه المتطلبات للتوزيع الجيد توجد سواء كانت الآنودات ضخمة أو صغيرة، سواء كانت آنودات تتآكل (آنودات ضحية) أو آنودات مثبتة على المنشأ أو آنودات التيار المسلط بالتحكم عن بعد. كذلك فإن توفير التيار بالتوزيع الجيد يتطلب القدرة على تحقيق متطلبات كثافة التيار المختلفة فى مساحات مختلفة للمنشأ ومتطلبات التيار من يوم إلى آخر.

كثافة التيار المطلوبة للحصول على جهد معين للصلب/ مياه البحر يتحدد عموماً طبقاً لتوفر الأكسجين عند سطح التلامس ما بين الصلب/ مياه البحر. قبل تكون الطبقة الناتجة عن نمو وتكاثر الكائنات البحرية، فإن العامل الحاسم قد يكون سرعة ماء البحر وتركيز الأكسجين. يمكن استنتاج متطلبات كثافة التيار نظرياً على الأقل وقبل تكون الطبقة. الجدول (9/2) يبين كثافات التيار المحسوبة من معدلات التآكل باستخدام قانون فارادى، عند سرعات لمياه البحر مقابل المنشأ الصلب ، الجدول (9/3) يوضح تأثيرات مختلف تركيزات الأكسجين المستخلص من الجدول (9/2).

جدول (9/2) كثافات التيار المحسوبة للحماية الكاثودية للصلب فى ماء البحر
(فى بحر الشمال الأكسجين 9 جزء فى المليون عند 7^5م)

السرعة الطولية متر/الثانية	معدل التآكل مليمتر/العام	كثافة التيار المكافئة (فارادى) مليأمبير/متر مربع
صفر	0.12	102
0.3	0.138	118
0.4	0.144	123
0.6	0.156	133
1	0.180	153
2	0.24	205
4	0.36	307

جدول (9/3) كثافات التيار المحسوبة للحماية الكاثودية للصلب فى ماء البحر

السرعة الطولية متر/الثانية	معدل التآكل مقيم ككثافة تيار (فارادى) (مليأمبير/المتر المربع) عند تركيز أكسجين				
	6 جزء فى المليون	7 جزء فى المليون	8 جزء فى المليون	9 جزء فى المليون	10 جزء فى المليون
صفر	68	80	91	102	114
0.3	78	91	105	118	131
0.4	82	95	109	123	136
0.6	89	103	118	133	148
1	102	119	136	153	170
2	136	159	182	205	227
4	205	239	273	307	341

نتيجة الحماية الكاثودية فإن الرقم الهيدروجينى (pH) يرتفع عند تلامس الصلب مع الماء والذى يسبب تكون طبقة من الترسيبات الجيرية التى تتكون أساساً من (كربونات الكالسيوم وإيدروكسيد المغنسيوم). هذه الطبقات تحد من تسرب الأكسجين إلى السطح وتقلل من متطلبات كثافة التيار كثيراً. توجد شواهد أن هذه الطبقات يصعب تكوينها فى المناطق الباردة كما أن هناك مجالات لأقصى كثافة تيار التى عندها تتكون الطبقة المؤثرة.

إمكانيات توفر قياسات ميدانية لمتطلبات كثافة التيار بين الصلب/ ماء البحر والتى يعتمد عليها تعتبر محدودة. بعض الجهات تبين المستويات العامة لكثافة التيار المطلوبة لمختلف المناطق الجغرافية كما فى الجدول (9/4) حيث أنها أفضل المستويات المتاحة وإن كان يلزم مراجعتها قبل الاستخدام فى مشروع معين.

لتوفير الحماية الكاملة لمنشأ ثابت من الصلب بعيداً عن الشاطئ فإن كل المساحات أسفل منسوب المياه يلزم لها قيمة جهد الصلب/ الإليكتروليت لكل أو لمعظم عمر الاستخدام للمنشأ. وهذا لا يعنى الحصول على قيم جيدة عند نقط رصد قليلة وثابتة، وكذلك لا يعنى قيم جهد جيدة عند كل النقط على المباحث السنوية بكل المعدة العاملة لأفضل كفاءة مع ظروف بيئة طبيعية. ذلك يعنى توفير الجهود المناسبة عند كل الأماكن على المنشأ حتى فى ظروف العواصف فى السنين الأخيرة للتصميم.

جدول (9/4) أدنى كثافة تصميمية لحماية منصات الصلب المثبت فى البحر

المكان	كثافة التيار مليأمبير/المتر المربع		
	أولية	متوسطة	نهائية
خطوط مواسير مدفونة.	50	40	30
مواسير صاعدة بها مياه بحر متدفقة.	180	140	120
مواسير صاعدة بها مياه بحر راكدة.	120	90	80
الطين المالح	25	20	15

بالنسبة لدرجات الحرارة ما بين 25ْم، 100ْم تزداد كثافة التيار 1 مليأمبير لكل درجة حرارة واحدة.

مستوى التيار المطلوب :

للحصول على هذه المستويات لجهد الصلب/ الإليكتروليت فإنه يلزم التوزيع الجيد للتيار من آنودات الحماية الكاثودية على كل المساحات المنشأ. كذلك فإن توفير التيار بالتوزيع الجيد يلزم أن يكون قادراً على توفير مختلف كثافات التيار فى المساحات المختلفة للمنشأ ومختلف متطلبات التيار من يوم إلى آخر.

تتحدد احتياجات كثافة التيار للحصول على جهد معين للصلب/ ماء البحر طبقاً لتوفير الأكسجين فى سطح التلامس للصلب/ ماء البحر. قبل تكون الطبقة الجيرية والنمو البيولوجى للحشف البحرى فإن العوامل السائدة ربما تكون سرعة مياه البحر وتركيز الأكسجين. يمكن استنتاج متطلبات كثافة التيار نظرياً على الأقل قبل الاستقطاب. وتكون الطبقات.

الموجز: لتلخيص النظام المطلوب للحماية الكاثودية المستخدمة لمنشأ ثابت فى البحر هو بحماية كل المكونات من الصلب أسفل سطح الماء خلال أيام من وضع المنشأ فى البحر وخلال العمر التصميمى. جهود الصلب/ الإليكتروليت المطلوبة ستختلف على المنشأ وكذلك ستكون كثافة التيار المطلوبة لاستمرارها. كذلك فإن كثافة التيار المطلوبة فى أى مكان معين للحصول على جهد معين للصلب/ الإليكتروليت ستتغير كذلك مع الوقت مع حدوث الاستقطاب والتغيرات البيئية التى تعدل من درجة هذا الاستقطاب. متطلبات الحماية الكاثودية لمنشأ ثابت فى مياه البحر تعتبر متغيرة، كذلك فإن تصميم الحماية الكاثودية يحب أن يعكس هذا لكى يحقق النجاح فى الهدف نحو منع التلف للمنشأ بفعل التآكل.

المنشأ : (The Structure)

أنه ليس من السهل وصف منشأ نموذجى، فقد وصفت المنصات فى مياه البحر عند أعماق مختلفة ما بين عدة أمتار إلى عدة مئات من الأمتار فى بيئات تتراوح ما بين أدنى رياح وأمواج إلى أماكن حيث هذه العوامل مؤثرة فى تصميم المنشأ.

بعض الأماكن يوجد بها نوع كبير للحشف البحرى المتوقع ، وبعضها لمخاطر الزلزال وبعضها معرض لأحمال الثلج فوق منسوب الماء. كذلك فإن بعض المنصات تجمع ما بين الإيواء ، الحفر ، الإنتاج والضخ ، وبعضها مصمم لواحد أو أكثر من هذه المهام. معظم المنصات عبارة عن إطارات فراغية من مواسير الصلب الملحومة والمثبتة فى قاع البحر بالخوازيق ، وإن كان هناك منصات جاذبية كبيرة من الخرسانة المسلحة حيث تحميل قاع البحر لا يحتاج لعمل خوازيق.

فى الحقول حيث المياه العميقة توجد منصات طافية مربوطة. ولكن الشكل الغالب للمنصات فى ماء البحر فى مجال البترول ، هما نوعين الأول هو رصيف الإنتاج بأربعة أرجل وتجهيزات الضخ بعمق 30 متر فى الماء والثانى رصيف بأربعة أرجل بالإيواء والحفر ، والإنتاج والضخ بعمق حتى 110 متر فى الماء – تصميم الحماية الكاثودية لهذه النوعية من المنصات يختلف إلى حد ما عن المنشآت الأخرى فى البحر.

الشكل (9/2) ، (9/3) يبين منصة المياه الضحلة ، المياه العميقة.

الجدول (9/5) يبين بعض الأبعاد المرتبطة بنظام الحماية الكاثودية

جدول (9/5) مفهوم تفصيل منصة المياه الضحلة، المياه العميقة

المعيار	القيمة لمنصات المياه الضحلة	القيمة لمنصات المياه العميقة
• عمق الماء	3- متر	110 متر
• عدد الأرجل	4	4
• عدد الأطر أو الهياكل الأفقية أسفل منسوب البحر	1	5
• إجمالى المساحة السطحية المغمورة	1500 متر مربع	63000 متر مربع
• إجمالى مساحة سطح الخازوق فى الطفلة	3500 متر مربع	6000 متر مربع
• العمر التصميمى	40 سنة	35 سنة

تداخل الحماية الكاثودية :

التآكل أو التحلل الكهروكيميائى لمنشآت الصلب المدفونة أو المغمورة بفعل التيارات الشاردة من السكك الحديدية التى تعمل بالتيار المستمر أو من نظم الحماية الكاثودية تم تناولها فى هذا الفصل. يجب أن يقوم مهندس التآكل بتصميم إنشاءات الحماية الكاثودية بالطريقة التى توفر أدنى تداخل مع المنشآت الأخرى، كذلك يقوم بتأكيد ما إذا كان التداخل موجود وفى حالة حدوث ذلك فإن عليه عمل إجراءات إبعاده. وهذا يتطلب جهد واعى وتعاون بين العناصر المختلفة المتعلقة بالموضوع.

الكشف عن وإزالة التداخل بإنشاءات الحماية الكاثودية يمكن أن يكون معقد، ولكن النتيجة النهائية المطلوبة هى ببساطة إزالة أى تيار مستمر تم التقاطه بالمنشأ الغريب والعودة إلى الأرض خلال ممر معدنى. ممر العودة هذا عادة يكون سلك توصيل إلى المنشأ المحمى أو إلى الطرف السالبة لمعدل التيار فى حالة وجوده قريباً.

أحياناً يكون من الممكن استخدام آنود جلفنى أو أكثر فى منطقة صرف التيار الشارد (والتى ليست بالضرورة تقع عند نقطة التقاطع أو قرب المنشأين) على المنشأ الغير محمى. يكون هذا مجدى فقط عندما يكون حجم التيار اللازم صرفه صغير بما يمكن من تداوله بآنودات جلفنية.

القاعدة المستخدمة على نطاق واسع لتعيين ما إذا كان التداخل تم تخفيفه على منشأ غريب هو استعادة جهد المنشأ / الإليكتروليت عند مكان صرف التيار إلى قيمته الأصلية. أى إلى مستواه قبل نشاط نظام الحماية الكاثودية.

التداخل مع قيسونات البئر بواسطة الإنشاءات الكاثودية القريبة تعتبر مشكلة أكبر من العادى نظراً لأن كلاً من الكشف والتخفيف كلاهما صعب. مهندس التآكل يجب أن يستخدم قياسات السطح، بالعودة إلى شكل جهد القيسون وذلك عند الشك فى أى حالة نحو احتمال التداخل مع قيســون بئر مجاور. لحسن الحظ، الاتجاه نحو الاستخدام الميدانى للحماية الكاثودية لقيسونات البئر، مع توازن جهود كل بئر، خفض مشكلة التداخل من بئر إلى بئر. لقد وجدت مشكلة أكبر بالتداخل مع نظام الحماية الكاثودية لخطوط المواسير على قيسونات البئر.

الفصل العاشر

الحماية الكاثودية
للسفن والمعدات الشبه غاطسة



مقـــدمة :

الحماية الكاثودية للسفن والمعدات الشبه غاطسة

Ships and Semisubmersibles

الحماية الكاثودية طريقة حماية من التآكل مقاسة للصلب فى مياه البحر. بالنسبة للسفن والمعدات والأجهزة الشبه غاطسة فإنه يستخدم كلاً من التيار التأثيرى والآنودات الضحية للحماية. الحماية الكاثودية فقط يمكن أن تحمى أسطح الصلب المعرضة لمياه البحر شريطة أن يتم تحويل جهد الصلب إلى 0.8- فولت مقابل قطب الفضة / كلوريد الفضة (أو 0.23 فولت مقابل الزنك القياسى).

سيتم مناقشة الحماية الخارجية للسفن والوحدات المتحركة بعيداً عن الشاطئ من خلال قسمين الأول بخصوص الحماية الخارجية للسفن والثانى الأجهزة والمعدات الشبه غاطسة. السبب فى ذلك هو أن استخدام نظم الطلاء مع الحماية الكاثودية يختلف بالنسبة لهذين القسمين. الصلب الغير مغطى فى مياه البحر الساكنة يتطلب كثافة تيار من 100 إلى 150 مليأمبير/ المتر المربع لحمايته، حيث تزداد مع زيادة حركة المياه وفى المياه الأكثر برودة. طبقة الطلاء على سطح الصلب ستعمل كحائل ما بين الكاثود والإليكتروليت وبذا يقل التيار المطلوب للحماية. فى الظروف العادية متوسط كثافة التيار سوف تكون ما بين 1 إلى 30 مليأمبير/المتر المربع.

الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى أو بالآنود الضحية يمكن أن يسبب تأثيرات ضاره على نظم الطلاء. وسيتم مناقشة هذه التأثيرات مع التركيز على السفن والأجهزة والمعدات البعيدة عن الشاطئ (فى البحر) .

1- السفــن:

أ- الحماية الكاثودية يمكن أن توقف كل التآكل على جسم السفينة وبذا يقلل من الخشونة الدائمة. ولكن جسم السفينة الناعم يصبح عامل هام أكثر وأكثر حيث يجب التعامل مع الخشونة المؤقتة.

يستخدم الطلاء للحماية ضد التآكل وللحماية ضد الملوثات والأوساخ (Fouling) . زيادة الملوثات والأوساخ ستزيد من خشونة الجسم بدرجة كبيرة عندئذ يكون الطلاء المقاوم للتلوث ضرورى. باستخدام الطلاء كطريقة وحيدة للحماية من التآكل، فإن الثقوب والتلف فى الطلاء.. الخ ستسمح بزيادة الخشونة الدائمة للسطح بالتآكل. لذا فإن طبقة الطلاء ونظام الحماية الكاثودية سيكمل كل منهما الآخر، حيث يقلل الطلاء من التيار المطلوب لحماية الصلب والحماية الكاثودية تمنع التآكل عند المناطق التالفة أو الضعيفة فى طبقة الطلاء.

ب- أهمية الخشونة :

معظم السفن الضخمة ذات سرعة خدمة 15 – 16 عقدة، تحتاج إلى 80% من قوتها لمقاومة احتكاك السطح. كقاعدة عامة عند زيادة الخشونة 10 ميكرومتر فإن الاحتكاك السطحى (Surface Friction) يزداد بنسبة 1%. بالنسبة لتكاليف الوقود الحالية فإنه يكون من المهم المحافظة على الخشونة السطحية عند أدنى مستوى.

يمكن تقسيم الخشونة السطحية إلى الخشونة الدائمة (Permenant) والخشونة المؤقتة (Temporarey) . الخشونة المؤقتة تكون بسبب فعل ترسيب الملوثات بين الأوقات فى الحوض الجاف (Dry Dock) . طبقاً للمعلومات المتاحة حالياً عن البويات المضادة لترسيب الملوثات (ذات التلميع الذاتى وإعادة التنشيط) فإنه يمكن خفضها إلى أدنى حد. أما الخشونة الدائمة فتكون بسبب التآكل. تلف الطلاء، الشروخ والطلاء الزائد للملوثات العضوية المترسبة (Fouling Drganisms).

القياسات السابقة أظهرت أنه بدون حماية كاثودية وأن كل الخشونة الدائمة ستزداد بحوالى 125 ميكرومتر فى العام حتى فى حالة الدخول فى الحوض الجاف سنوياً.

قياسات تالية أظهرت أنه بنظام الحماية الكاثودية ومختلف أنواع البويات فإن متوسط الزيادة فى الخشونة انخفض إلى 25 – 30 ميكرومتر فى العام. القياسات الأخيرة كانت لعمر يزيد عن 6 سنوات. حالياً توجد أسباب نحو تحسن عملية التصميم للحماية الكاثودية كما أن العلاقة التبادلية بين الطلاء والحماية الكاثودية يتم حالياً مراعاتها بطريقة أفضل .

طبقاً لذلك فإنه يمكن الاعتقاد أنه بالنسبة للبناء الحديث للسفن) فإن الخشونة السطحية ستنخفض بنسبة 20 ميكرومتر فى العام . من الواضح أنه يجب التأكيد على تصميم كل من الحماية الكاثودية والربط ما بين الحماية الكاثودية والطلاء. التصميم الغير جيد للحماية الكاثودية ، أو فى حالة توقف عمل التيار التأثيرى، سيعمل ذلك على زيادة الخشونة، كذلك نفس الشيء بالنسبة للطلاء الغير مناسب للاستخدام مع الحماية الكاثودية.

جـ- تصميم الحماية الكاثودية ، الآنودات الضحية:

لقد تم اكتساب خبرة نظم الحماية الكاثودية الخارجية من ملاك السفن الإنجليزية والنرويجية. الجدول (10/1) يوضح المعلومات المكتسبة من ملاك السفن، حيث تبدو الزيادة فى استخدام التيار التأثيرى. كما لوحظ أن 75% من آنودات الضحية المستخدمة كانت آنودات الزنك، 25% آنودات ألومنيوم. السبب الرئيسى فى ذلك هو أن آنودات الألومنيوم استخدمت للسفن الجديدة، آنودات الزنك للسفن القديمة، إلا أن الألومنيوم سوف يظل هو الآنود المفضل لقلة تكلفته عن الزنك والتى تصل إلى النصف تقريباً.

جدول (10/1) نسبة السفن بنظم الحماية الكاثودية المختلفة.

	بالتيار التأثيرى	بالأنودات الضحية	مع أرضى لجزع جسم السفنية
إنجلترا عام 1969	5	95	21.5
النرويج عام 1972	16	84	32.5

عادة يتم تصميم إنشاءات الآنود الضحية لتوفير الحماية لمدة من 2 - 3 عام ما بين دخول السفينة فى الحوض الجاف (Dry Dockings) . عدد الآنودات المستخدمة يتوقف على المعدل المتوقع لتلف الطلاء الناتج عن كثافة التيار المقدر، والتى كانت 20 مليأمبير/المتر المربع حيث أعطت كثافة تيار مرتفعة جداً مع نظام الطلاء فى ذلك الوقت. حالياً كثافة التيار المناسبة لكل السفن العابرة للمحيطات هى 10 مليأمبير/المتر المربع مع استخدام الطلاء المناسب.

لقد لوحظ أنه بالنسبة للسفن الصغيرة مثل سفن الإمداد فإن كثافات التيار 30 مليأمبير على المتر المربع أعطت حماية جيدة بين فترات الحوض الجاف، والسبب فى ذلك يرجع أساساً إلى احتمالات التلف الميكانيكى.

وجد أن معظم السفن بالآنودات الضحية تعانى من الحماية الزائدة فى الفترة التالية مباشرة بعد الحوض الجاف، أى أن الجهد أكثر سلباً عن المطلوب للحماية ومع تلف الطلاء ببطىء خلال الاستخدام فإن الآنودات استهلكت وأصبحت السفن أقل حماية قبل فترة الحوض الجاف التالية. وهذا كان أحد الأسباب نحو تغيير كثافة التيار إلى قيمة أقل، حيث لوحظ أن زيادة الاستقطاب قد تحدث التلف لنظام الطلاء. يمكن الاستفادة من هذه الملاحظة حالياً. حيث يمكن الحماية الزائدة بالآنودات الضحية للسفينة عند طلائها حديثاً ثم يون الجهد أقل سلباً عن اللازم قبل الدخول التالى فى الحوض الجاف. بناء على هذا يمكن تبنى هذه النظرية. نظراً لزيادة أهمية الخشونة فإنه سوف يتم اللجوء إلى نظام طلاء أفضل والذى لا يحقق فقط الحماية من التآكل أو منع التراكم البيولوجى ولكن يعمل كذلك متوافقاً مع نظام الحماية الكاثودية. عندئذ فإن الحماية الزائدة إلى حد ما سوف لا تسبب أى تلف للطلاء، حيث يكون من المهم المحافظة على جسم السفينة من التآكل من المحتمل زيادة كثافة التيار ثانياً لأغراض الأمان واستهلاك الوقود.

د- تصميم الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى :

C P design, Impressed Current

النظم الحالية لاستخدام الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى لجسم السفينة مبنية على آنودات سبائك التيتانيوم – البلاتين (Platinized – Titanium) وبنسبة أقل النيوبيوم – البلاتين أو باستخدام سبائك الرصاص – الفضة. وهذه كلها تعتبر آنودات خاملة، أى أن استهلاكها أقل ما يمكن عند استخدامها بأمان.

بالنسبة للسفن يوجد بصفة عامة نوعين من آنودات التيار التأثيرى، أحدهما هو سبيكة الرصاص الفضة والآخر هو سبيكة قضيب البلاتين. هذا النوع يوفر أنود طويل المظهر والذى يمكن أن يعطى خرج مرتفع نسبياً بالأمبيرات مقارنة بسطحه المعرض. السلبيات

هى أن الآنودات يتم تثبيتها بحيث تمتد خارج جسم السفينة إلى حد ما وهذا قد يسبب التلف بفعل المواد الطافية والسلاسل والأسلاك.. الخ. النوع الآخر هو آنود التيتانيوم – البلاتين فى شكل القرص 0أو النوبيوم) والذى يمكن تثبيته تماماً فى تجويف فى جسم السفينة وبذا لا يمكن إتلافه بسهولة.

الشكل (10/1) يوضح مخطط لنظام التيار التأثيرى للسفن محتوياً على جهاز تعديل التيار (Rectifier)، نظام التحكم (Controller)، أقطاب قياسية (Reference Electrodes) ، آنودات، سدود الإنضاب (Coffer Damps) ، والأرضى إلى الجزء الرئيسى لجسم السفينة (Earthing To the shaft) . كل أجزاء النظام هامة للحصول على أداء جيد لمدة عشرة سنوات تقريباً بدون صيانة. العامل الآخر الهام هو حافظة الآنود أو غلاف الآنود (Anode shield) أى المادة العازلة المجاورة للأنود مصممة بحيث يكون الانخفاض فى الجهد عبر غلاف الأنود كبيراً بحيث لا يحدث أى تلف للطلاء الخارجى بفعل التيار التأثيرى.

عدم الانتباه لأهمية العوامل التى ذكرت نتج عنه فشل فى نظم الحماية الكاثودية فى الأيام الأولى النظام الكهربى والمعدل كان السبب فى معظم المشاكل بما أساء لسمعة التيار التأثيرى ، وإن كان تم التغلب على معظم هذه المشاكل ، وإن كان ما زال بعضها قائماً. من بين مصادر المشاكل كان حافظة الآنود ، وقد أثبتت الخبرة أن استخدام الإيبوكسى الخالى من المذيب المستخدم على السطح النظيف والذى تم إعداده بالترميل مع إطار ربط جيد فى منيم ملائم للآنود. ولذلك فإن الآنودات فى شكل القرص تتميز عن الأنواع الأخرى عند استخدامها فى السفن. أحد أهم الايجابيات لنظام التيار التأثيرى نسبة إلى الآنود الضحية هو أنه يمكن تصميمه لإعطاء التيار المطلوب للحماية فى أى وقت. ولذلك فبسبب التحكم الآلى بالأقطاب القياسية فإنه لا نرى الصورة كما فى حالة الآنودات الضحية أى الجهد المنخفض السالب بعد الحوض الجاف، التغيرات البطيئة إلى الحماية الأقل. نظام التيار التأثيرى يحافـظ على جهـد الحماية الكافى حتى فى حالة ملاحظة التلف الشديد فى الطلاء. السبب فى ذلك هو أن نظام التيار التأثيرى يصمم للإمداد بثلاث أضعاف التيار المصمم لنظام آنودات الضحية.

لقد أثبتت الأبحاث أن نظم التيار التأثيرى لا تسبب زيادة فى تلف طبقة الطلاء مقارنة بالآنودات الضحية. كما يبد أنه من المهم اعتبارات طبقة التغطية بالطلاء والحماية الكاثودية كلاهما عامل حماية مكمل للآخر. من المحتمل أن الجهد الثابت الناتج بالتيار التأثيرى أن يكون العامل الذى يؤخذ فى الاعتبار نحو تأثير الحماية الكاثودية على طبقة الطلاء. تكون القلويات، وتصاعد الهيدروجين، التناضح الإليكترونى (Electro – Osmosis) تعتبر العوامل التى يمكن أن تسبب تلف طبقة الطلاء.

يجب مراعاة الاهتمام نحو العلاقة بين الحماية الكاثودية وطبقات التغطية بالطلاء أولاً، بدن السفن (Ships Hulls) المعالج بطبقة بطانة من الزنك الغنى بالإيبوكسى والكولتار ايبوكسى أو بطانة الفنيل سوف يحافظ على الجهد من + 100 إلى + 50 مليفولت مقابل قطب الزنك القياسى لمدى طويلة. فى الحقيقة فإنه ليس جهد الصلب الذى تم قياسه ولكنه جهد الزنك فى طبقة الطلاء عالية مركبات التلوين (Highly pigmented paints) . ثانياً فى نظام الحماية الكاثودية بآنودات التيار التأثيرى، فإن بعض التيار سوف يمر دائماً من الآنودات حتى فى حالة قراءة التحكم الآلى أن الحماية جيدة، ولكن العيوب الصغيرة (أكبر من الثقوب) المحلية فى طبقة الطلاء سوف لا تؤثر على الجهد الكلى، وخاصة فى حالة وجود هذه العيوب بعيدة عن الأقطاب القياسية، فإنه لا يتم تسجيل أى تغير فى الجهد بواسطة التحكم الآلى. هذا يمكن أن ينتج عنه تآكل موضعى على تلك المساحة الصغيرة من التلفيات. الحل لهذه المشكلة يمكن بتغيير جهد الحماية بواسطة التحكم من 250 مليفولت (250mV) إلى 50 مليفولت مقابل قطب الزنك القياسى بحيث يمكن تنشيط جهاز تعديل التيار (Rectifier) حتى فى حالة تسجيل الجهود المنخفضة.

فى كثير من الحالات حتى فى حالة السفن الضخمة نسبياً، يستخدم التيار التأثيرى فى منطقة مؤخرة السفينة فقط، وإن كان لا يوصى بذلك لأسباب كثيرة. أحدهم هو عامل الأمان، ففى حالة سفينة حمولة 30000 طن والتى تزور موانى كثيرة بماء عذب أو مالح قليلاً (Brakish). هذا سيسبب انتفاخ الطلاء ثم الجفاف فيما بعد ثم تقشر الطلاء أخيراً. الحماية فقط للمؤخرة لا تكون قادرة لتلبية احتياجات التيار الزائدة. توجد أمثلة كثيرة

للسفن تمت لها الحماية السفلية وخاصة فى منطقة التقوس والإخفاء (Bow Area)، وهذا ليس إلا تكاليف إضافية صغيرة لتحقيق الحماية الكاملة لكل بدن السفينة بعمل وإنشاء نظامين منفصلين أحدهم فى مساحة الانحناء والآخر فى منقطة المؤخرة.

يبدو أن نظام الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى سيلقى قبولاً كثيراً ذلك بسبب ارتفاع تكلفة الحماية بالآنودات الضحية.

3- الشبه غاطسة : (Semi – Submercibles)

أ- معدات الحفر (Rigs) الشبه غاطسة يلزم لها الحماية الكاثودية، الحماية من التآكل لمثل هذا الجسم تختلف عن ذلك للسفن، حيثِ لا توجد حاجة للسطح الناعم أو المنع الشديد لتراكم الملوثات العضوية. تقريباً كل معدة حفر تكون مغطاة بطبقة طلاء إلى حد ما، حيث معظمها يكون الطلاء إلى أسفل منسوب سطح الماء أثناء التجهيز.

عموماً فقد وجد أن كثافة التيار زيادة عن 130 مليأمبير/ المتر المربع يتم استخدامها على الصلب الغير مغطى لتوفير الحماية الكاثودية، كما أنه فى حالة الحصول على الاستقطاب الأولى بسرعة فإن الاحتياجات من كثافة التيار يمكن أن تنخفض مع الوقت. لذلك فقد أقترح تبنى ثلاث كثافات تيار وهى الأولية والنهائية والمتوسطة. ولكن بالنسبة للشبه غاطسات والتى تتحرك أحياناً من مكان إلى آخر فإن القيمة المتوسطة يمكن أن تكون مرتفعة مثل قيمة كثافة التيار المتوسط.

تم استخدام معيار آخر له أهمية وهو معامل الاستخدام والذى يعرف بأنه كمية مادة الآنود المستهلكة (فى المائة) عندما تكون مادة الآنود المتبقية غير قادرة على إعطاء خرج التيار الضرورى للحماية. أقصى قيم مقبولة لمعامل الاستخدام هى:

90% للآنودات الرفيعة والهزيلة.

85% للأشكال الأخرى.

معدات الحفر الخمسة عشر الموضحة فى الشكل (10/2) والتى تم حمايتها كاثودياً. الشكل يوضح كثافة التيار وعلاقتها بمساحة السطح المغطى بطبقة طلاء ويمثل فقد دقيق للآنود لمدة لا تقل عن 4 سنوات.

من الخبرة يمكن اعتبار الحاجة إلى كثافتين للتيار هى :

- كثافة تيار متوسط لحساب الوزن .
- رقم لكثافة التيار الأولية لحساب طاقة التيار الضرورية.

متوسط كثافة التيار هو فى المجال 120 مليأمبير على المتر المربع للصلب الغير مغطى و 40 مليأمبير /المتر المربع للصلب المغطى بطبقة طلاء. هذه البيانات تشير إلى عمر خمسة سنوات.

كثافة التيار الأولية تعرف بأنها كثافة التيار اللازمة للاستقطاب، ومن المحتمل أن تكون فى المجال من 120 مليأمبير/ المتر المربع للصلب الغير مغطى كما يجب معرفة أن طاقة التيار المقابلة يجب أن تكون متاحة خلال عمر النظام.

ملاحظات عامة أخرى هى:

- تزداد متطلبات كثافة التيار مع تغير الموقع من آن إلى آخر. لذلك فإن معدات الحفر سيكون معدل استهلاكها للآنود أكبر عن الوحدات الثانية.
- فى فترة العواصف كان الاستقطاب حتى 20 مليفولت أقل سلباً عن فترة هدوء المناخ.

يتكون نظام الآنود الضحية على معدة الحفر الشبه غاطسة من حوالى 600 آنود. الأنودات تكون منتشرة بانتظام على المنشأ مع الاهتمام بالآنودات والوصلات. بعد بعض الوقت فى البحر وجد أن بعض الآنودات تآكلت أكثر من المتوسط. وكان هذا بالنسبة للجانب الخارجى للأعمدة ومعدات الطفو وخاصة عند الانحناء والمؤخرة. كما وجد معدل عالى للاستهلاك قرب سلاسل الربط والحوامل (Bolsters) . لذلك فإنه بالنسبة لهذه المساحات يجب إعطائها الاهتمام الخاص عند تصميم نظام الحماية الكاثودية.

أثناء التعديل لتحسين وضع الآنودات أصبح تجنب وضع آنودات جديدة فى القاع الطافى قاعدة أساسية لسببين وهما مشكلة الحوض الجاف للمعدة وصعوبة تعديل وضع

الآنودات فى القاع الطافى. لقد أظهرت القياسات أن الانخفاض فى الجهد ما بين جانب الطافى والقاع كان فقط 40 – 50 مليفولت. على هذا الأساس أصبح الآن الأداء العادى هو عدم إنشاء آنودات فى هذه المنطقة.

تعديل الآنودات : Retrofitting of Anodes) (تثبيت الآنود).

القوة الميكانيكية للآنود وتجهيزات التثبيت ذات أهمية كبيرة لتأكيد أن المنشأ يظل ملتصق خلال العمر التصميمى. يجب ملاحظة النقط الآتية:

- يجب أن يقاوم الآنود قوى الموج حتى سرعة المياه 10 متر فى الثانية.
- احتمال سقوط أشياء ثقيلة من المنصة واصطدامها بالآنود.
- الاهتمام نحو مشكلة احتمال رفع الآنود بعيداً عن سطح الصلب بسبب تراكم الترسيبات الجيرية ونواتج التآكل فى منطقة الالتصاق بين الآنود والصلب.

الطريقة العادية للحام الآنودات مع مستوى السطح هى بلحام ثلاث أجناب للقضيب المستوى البارز خلال الآنود إلى الصلب. لتجنب احتمال حدوث تشقق فى معدن الأساس من الصلب، فإنه من المفضل أن يكون اللحام مستمراً، حول كل ارتفاع اللحام بنفس الطريقة كما فى حالة الآنود من نوع الصد البعيد عن الشاطئ. توجد مشكلة خاصة متعلقة بتعديل الآنودات أسفل خط الفارغ للسفينة (LLL – Light Load Line) الطريقة المناسبة هى باستخدام صندوق بينى طبيعى جاف (Dry Habitats) . يصمم الصندوق خصيصاً لنوع الآنود ونوع المنشأ، يلزم غطاسين لحام مؤهلين. يتم ضبط وجه المينم قابل للضبط لأى انحناء. القوة اللازمة للضغط والعزل عن الماء حول اللحام الحقيقة يمكن أن تكون هيدروليكية، أو هوائية أو بالشد أو ببساطة قوة الطفو. بعد استخدام القوة يتم تفريغ الصندوق من الماء بدفع الهواء المضغوط إلى الغرفة عندئذ يمكن بدء اللحام. معدل لحام الآنودات بهذه الطريقة تحت الماء هو حوالى 30 آنود فى اليوم.

4- تصميم جديد : (New Design)

بعد أن أظهرت المباحث والملاحظات وحسابات كثافة التيار اللازمة فإنه يمكن تقدير وزن الآنود باستخدام المخطط الخاص بذلك. وهذا يعنى بالنسبة للحفار أو أى معدة

متحركة فى ماء البحر فإنه يستخدم كثافة تيار 120 مليأمبير/المتر المربع فى حالة عدم وجود طبقة تغطية بالطلاء وفى حالة الطلاء الكامل تستخدم كثافة تيار 40 مليأمبير/المتر المربع. يجب ملاحظة أن ذلك هو الرقم المتوسط لاستهلاك الآنود خلال 4 سنوات خدمة.

حتى فى حالة استخدام 120 مليأمبير/المتر المربع تقريباً للصلب الغير مغطى، فإن هناك حاجة لقيم أعلا لسرعة وتأمين الاستقطاب بعد أى تحرك للحفار. يتم تصميم نظام الحماية الكاثودية لتكون طاقة التيار 150 مليأمبير/المتر المربع. ذلك مع تصميم الحماية الكاثودية باستخدام 150 مليأمبير/ المتر المربع لطاقة التيار، 120 مليأمبير/المتر المربع لتقدير الوزن على المنشأ الغير مغطى بالطلاء.

لتأكيد توفر التيار الكافى، فإنه يتم حساب خرج الآنود الواحد. الطريقة العادية لحساب خرج التيار للآنود بالنسبة لآنود التثبيت السطحى هى بحساب المقاومة طبقاً لمعادلة موكى (McCoy) .

$$R = \frac{0.315 \times P}{\sqrt{A}}$$

حيث :

P = المقاومة النوعية (أوم متر)

A = مساحة سطح الآنود المعرضة متر مربع

يمكن استنتاج أنه فى حالة التصميم 120 مليآمبير/ المتر المربع وباستخدام معادلة موكى فإن طاقة خرج التيار للآنود تكون كافية لتوفير الاستقطاب السريع المعادل إلى 150 مليأمبير/ المتر المربع، وهذا يكون حقيقى عندما يقترب الآنود من الاستهلاك الكلى. الآنودات الضحية عادة يتم تصميمها لمده 5 سنوات ، ولكن لارتفاع تكلفة تثبيتها فقد زاد الاهتمام نحو التيار التأثيرى للاستخدام فى المعدات الشبه غاطسه ، حيث يمكن تصميم نظام التيار التأثيرى لمدة 20 عام.

استخدمت أنواع متعددة من النظم وإن كان الاختلاف يتعلق بنوع الآنود، حيث استخدم كلاً من الآنود على شكل قرص البلاتينى (platinized) وآنود الرصاص –

الكبير في الخرج للأنود. ولكن آنودات الرصاص + الفضة لها كفاءة عالية ولكن معدل الاستهلاك العالى الغير عادى تم رصده بالإضافة إلى انخفاض القوة الميكانيكية. التصميم الحالى يشمل آنودات بلاتينية فى شكل قضيب طويل والتى يمكن أن تعطى 150 أمبير للأنود شريطة وجود الفولت المطلوب. عدد الأنودات المطلوب تثبيتها والخرج التصميمى هو من مدخلات التصميم كقاعدة يبنى التصميم على كثافات التيار الموجودة فى المباحث الميدانية التى سبق مناقشتها. ولكن يتم إدخال عامل أمان بنسبة 20% فى حالة فشل أى آنود فى العمل. فى هذا المجال يجب ملاحظة أنه عند التصميم فإن المساحة أسفل أعلا تحميل (HLL- High Load Line) والتى هى عادة كل أجزاء الجسم الطافى (Pontoons) يتم اعتبارها صلب غير مغطى سواء كانت مغطاة بطبقة طلاء أو لا. السبب فى ذلك هو توقع تلف كبير فى طبقة الطلاء بعوامل ميكانيكية وأن هذه المساحة لا يمكن استمرارها مغطاة إلا فى حالة وضع المعدة فى الحوض الجاف.

التيار التأثيرى يتم التحكم فيه آلياً باستخدام الآنودات القياسية (Reference).

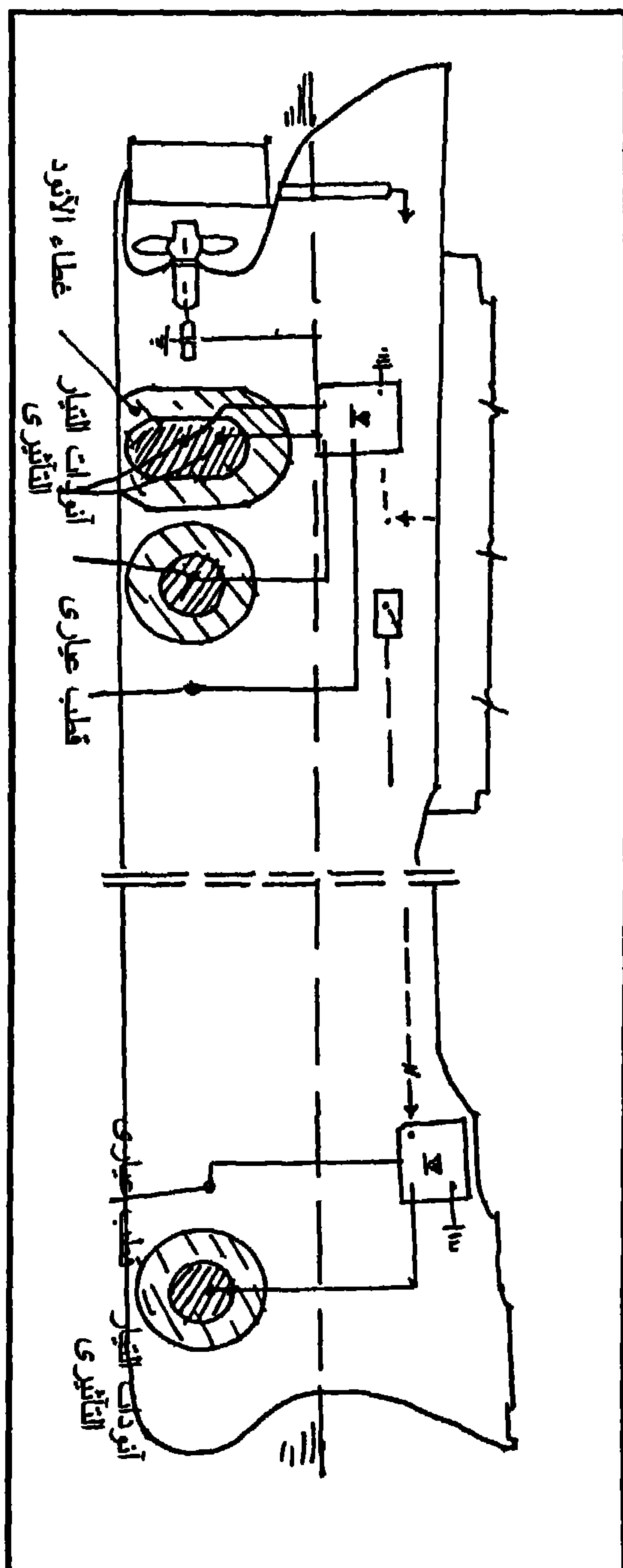
الآنودات القياسية تعمل جزئياً كذلك كنظام تحكم معطية معلومات عن مستوى الجهد فى المعدة. على عكس، متطلبات قياسـات الجهـد على معدات الحفر باستخدام الآنودات الضحية، فإنه لا تكون هناك حاجة لقياسات إضافية للآلات باستخدام نظم التيار التأثيرى. هذا حسنا ذلك لآن القياسات الإضافية بواسطة الغطاسين لا يسمح بها إلا فى حالة فصل التيار والذى من الطبيعى أن يؤدى إلى قياسات غير صحيحة.

الخـلاصـة :

من المهم معرفة الآتى فقط :

نظام الحماية لجسم السفن الذى يتكون من كل من الحماية الكاثودية والطلاء أعطى نتائج حماية قريبة من نسبة 100% وذلك بالنسبة لقاع السفن. كذلك استخدام الحماية بالتيار التآثيرى الذى يوفر جسم ناعم للسفينة مع أقل تكاليف للصيانة.

الشبه غاطسه هى ما بين السفينة والمنشآت البحرية البعيدة عن الشاطئ وإن كانت الدراسات والأبحاث مازالت قائمة نحو التحسين فى نظم الحماية لهذه الإنشاءات.



شكل (1/10) إنشاءات نظام التيار التأثيرى على سفينة، وضع أنودات التيار التأثيرى والأنودات العيارية.

الفصل الحادى عشر

الحماية الكاثودية لمحطات الطاقة ونظم مياه التبريد



الحماية الكاثودية لمحطات الطاقة ونظم مياه التبريد :

1- سيتم تناول الحماية الكاثودية لمياه التبريد من البحر لمحطات توليد الطاقة، وينطبق هذا النظام على أى منشأة صناعية مستخدمة مياه البحر للتبريد. ومن المهم تتبع مسار مياه التبريد خلال محطة توليد الطاقة.

أ- مأخذ مياه التبريد :

مصافى المأخذ هى عادة من الصلب المطاوع أو من حديد الزهر وهى إما تكون مجلفنة بشكل كثيف أو مغطاة بطبقة حماية، وهى معرضة لتلف طبقة التغطية بفعل المواد الطافية. بوابات المآخذ تكون عادة من الصلب المطاوع أو الحديد الزهر وتوضع فى قنوات من الصلب المدرفل (Rolled) الموضوعة فى خرسانة منطعة المأخذ. التغطية تستخدم عادة هنا ولكنها تكون معرضة للتلف أثناء الاستخدام للبوابة وبفعل الأجسام الطافية والرمال فى الماء.

ب- معدة المصافى :

المصفاة الأسطوانية أو مصافى الشريط الدوارة هى أكبر المكونات فى الماء. المصفاة الأسطوانية لها صرة (Hub) يشع منها قضبان من الصلب المطاوع المحاطة والمغطاة بشبكة من الصلب المقاوم أو المغطى أو المجلفن. كل التجهيز يدور وهو إما أن يكون مغموراً فى ماء البحر أو مغطى بمياه البحر المستخدمة للتنظيف لإزالة الأعشاب.

جـ- مياه التبريد :

المكون الرئيسى لتدوير المياه هو طلمبة التدوير والتى تصنع عادة من الصلب العالى حيث الدافع من البرونز وعامود الإدارة من الصلب المقاوم. الطلمبة معرضة للسرعة العالية، للمياه المهواة والمضطربة. وهى حالة واضحة نحو اختيار المادة التى تتوافق ولكن اقتصادياً ذلك غير مجدى.

د – مواسير التغذية وملحقاتها :

مواسير التغذية والمحابس هى من مواد تقليدية وهى حالة نموذجية لاستخدام التغطية بالمواد العضوية ذات النوعية الجيدة، ولكن التنفيذ الضعيف للتغطية يمكن أن يؤدى إلى أخطاء وعيوب وظهور الثقوب فى الطلاء.

هـ- صناديق ماء المكثف التربيني : Turbine Condenser Water Box

صندوق ماء المكثف التربيني هو أساساً لوح أنابيب ضخم من النحاس الأصفر البحري (Admiralty Brass) مع باقي الأجزاء الخمسة للصندوق مصنوعة من الصلب المطاوع. لوح الأنبوب يكون مثقباً ومحتوياً على عدة آلاف من الأنابيب ذات القطر 25 ملليمتر تقريباً المصنوعة من سبائك النحاس أو المصنوعة قريباً من التيتانيوم.

للتعامل مع هذا الخليط حيث معدل التدفق العالي نسبياً ، الاضطراب ، التهوية والتدرج في درجة الحرارة من أحد نهايات المكثف إلى النهاية الأخرى. التغطية تؤدي إلى المهمة الأولى في حالة تنفيذها جيداً ، إلا أنها يحتمل تعرضها للتلف الحاد عند صيانة الوحدة وذلك لأنه ليس من المتبع إقامة سقالات داخل الصندوق في ذلك الوقت.

و- المبردات المساعدة : Auxiliary Coolers

المبردات المساعدة المضافة ... الخ هي كما في الحالات السابقة ويحدث لها نفس مشاكل التآكل.

ز- تربين غرفة عمل المواسير :

عمل مواسير التبريد المساعدة أكبر من 400 ملليمتر للقطر قد تحتوي على آلاف من الأقدام من المواسير في أماكن يصعب الوصول إليها حيث يستحيل إصلاحها بدون حدوث مشاكل.

ح- مخرج مياه التبريد :

مسالك الصرف تشبه في الإنشاء لمنطقة المأخذ وتحتوي على مجاليس قفل ... الخ.

ط- خزانات حفظ الوقود : Oil storage Tanks

بالنسبة لمحطة تخزين الوقود ، فإن القاع السفلي للخزانات هو مشكلة تآكل تقليدية. خط المواسير بين محطة التكرير وخزانات حفظ الوقود هي كذلك منطقة تآكل كذلك. هذا بالإضافة إلى خطوط مواسير التغذية المحلية.

2- التطبيق العملى للحماية الكاثودية :

أ- مأخذ مياه التبريد :

فى منطقة مأخذ تدوير المياه يمكن حماية المصافى ذات الفتحات الكبيرة والمصافى ذات الفتحات الصغيرة بواسطة الآنودات الضحية سواء بتثبتها بمسامير رباط (Boited) أو باللحام. الاستبدال سهل نسبياً عند رفع المكونات من أماكنها. فى حالة المأخذ يوجد نقص فى كل من الأماكن المناسبة والمساحات لوضع آنودات التيار التأثيرى. هذا بالإضافة إلى أن طبيعة المنشأ تجعل من الاستمرار الكهربى بين المكونات المتجاورة غير مضمون.

بوابات المأخذ توضع عادة مواجهة لمساحة كبيرة من الماء. بالتصميم الجيد يمكن حماية عدة بوابات بواحد أو اثنين من الآنودات التى تعمل بالتيار التأثيرى البعيد والموضوعان على الحائط الخرسانى المواجه. يمكن استخدام الآنودات الضحية مثبته على البوابات أو مجاورة لها ولكن الاستبدال يتطلب خدمة الغواصين على فترات منتظمة وبذا لا يكون اقتصادى. كما أن الآنودات الضحية المصممة لعمر المحطة ستكون ضخمة وتثبيتها يكون غير عملى.

ب- معدات المصافى :

الجزء الأساسى فى عملية التصفية هو مصفاة الأسطوانة الدوارة. يمكن وضع آنودات التيار التأثيرى حول المنشأ الخرسانى المحيط بعيداً إلى حد ما عن أشغال الصلب. وهذا يجعلهم مثاليين للحماية بالتيار التأثيرى حتى أن المصافى بقطر 15 متر يمكن حمايتها بستة آنودات فقط. يعمل هذا المخطط فى حالة التوصيل الكهربى مكونات الصلب للمصفاة. لاكتمال الدائرة يكون من الضرورى تثبيت حلقة منزلقة وترس فرشاة وهذه يجب تثبيتها خلال تجهيزة مانعة للمياه إلى محـور الدوران. فـى المصافى الدوارة يمكن تثبيت الآنودات على الهيكل وكذلك على المصفاة المحيطة. لتأكيد الاستمرارية يتم تثبيت أسطوانات دوارة من الصلب المقاوم بين المصفاة المتحركة وتجهيزة الدوران. تستخدم الآنودات الضحية كذلك لحماية هذين النوعين من المصافى. فى هذه الحالة يتم التوزيع المنتظم لعدد كبير من الآنودات الصغيرة نسبياً على كل المنشأ وبذا يمكن توفير حماية

كاثودية جيدة. ولكن كثيراً من صناع المصافى لا يقبلوا مشكلة الوزن الناتجة عن إضافة الآنودات للمصفاة المتزنة. الاستبدال ضرورى كل ثلاث أو أربع سنوات وهذا سهل بالنسبة للمصفاة الدوارة ولكن فى حالة مصفاة القضبان فإن ذلك يتطلب ظروف الجفاف لعمل الاستبدال.

جـ طلمبات مياه التبريد :

طلمبات التدوير الرئيسية فى محطات الطاقة الحديثة يمكن أن تكون إما من نوع الطرد المركزى أو المحورية، حيث الحلزونى (Volute) يتكون من إما الحديد الزهر أو الصلب أو الخرسانة. فى كل الحالات فإن الجزء المعدنى من الغطاء والدافع يمكن حمايتهم بطريقة التيار التأثيرى.

د- مواسير التغذية :

كما فى حالة طلمبات التدوير، فإن هذه المواسير يمكن أن يصل قطرها إلى 4 متر حيث كان يتم حمايتها أصلاً بآنودات الكابولى (Cantliver). فى حالة المواسير المغطاة جيداً حيث تدفق المياه منخفض نسبياً، فإن الآنودات الضخمة التى تتآكل ذات الطاقة الكافية يمكن أن تستمر حتى عمر الخدمة للمحطة، ولكنها عموماً لا تستخدم حيث أنها تسبب إعاقة كبيرة لتدفقات المياه.

هـ- صناديق مياه مكثف التربينى :

أفضل توزيع للتيار هو الرباط ما بين التغطية الجيدة ذات النوعية العالية مع نظام التوزيع الآنودى الكابولى أو الإبقاء على بعد من الآنود من نوع قضيب التنشيف (Towel – Tail).

و- المبردات المساعدة :

المبردات المساعدة الكثيرة والمختلفة أفضل حماية لها هى بواحد أو أثنين من آنودات الكابولى لكل فراغ مائى (Water Space). الآنودات ذات القضيب المستمر استخدمت فى الصناديق الضحلة ذات النهاية العائدة (Return End) والتى توجد فى بعض المبردات

والتى تكون معرضة لبعض الغرين أو الطمى. فى بعض الحالات ، حيث الصناديق الضخمة وظروف التدفق المنخفضة فإن الآنودات الضحية مازالت مستخدمة.

مخرج مياه التبريد :

بوابات التوقف مع حفره الحجز والخروج تشبه لتلك فى منطقة المأخذ وهذه عادة يتم حمايتها بواسطة آنودات التيار التأثيرى التى توضع بعيدا.

3- المحول المعدل للتيار : Trans Former Rectifier

فى نظام التيار التأثيرى لمحطة الطاقة يكون مصدر التيار المستمر هو المحول المعدل للتيار. مختلف أنواع هذا المحول المعدل للتيار متوفرة وذلك طبقاً للأداء المستخدم من أجله.

أ- التحكم اليدوى Manual Control :

المحول المعدل للتيار التقليدى يستخدم مع مستوى خرج للتيار المستمر الذى يتم التحكم فيه بواسطة مفاتيح دوارة (Rotary Tapping Switches). وهو مزود بفولتميتر وأميتر لقياس الخرج الإجمالى. التيار المستمر من قطاع معدل التيار يتم تغذيته على لوحة توزيع مجمعة حيث منها يتم التوزيع إلى الآنودات. كل دائرة آنود تحتوى على مصهر (Fuse)، محول العداد (Meter Shunt) ومقاوم متغير. لوحة التحكم (Control Panel) مزودة بعداد قياس إضافى ومفتاح اختيار دوار (Rotary selector switch) لتمكين القياس لتيار الآنود الواحد. لتوفير الوقت نحو تسجيل الجهود على المحطة ، يكون من الطبيعى عمل التوصيل لكل قطب قياسى غلى لوحة التحكم ليمكن رصدهم بواسطة مليفولتميتر مثبت لا يخطئ (High- Impedance Millivoltmeter).

ب- التحكم الآلى المقوم الترانستورى أو الموصل الوسيطى يعمل كجزء رئيسى من مضخم مغناطيسى :

(Automatic control – thyristor or transducer)

هنا فإن القوم الترانزستورى أو الموصل الوسيط الذى يعمل كجزء رئيسى من مضخم مغناطيسى يستخدم ليحد من خرج الفولت المرسل إلى لوحة التحكم الآنودى

وبالتالى للأنودات. وحدة التحكم خلال المحول المعدل للتيار توضع عند مستوى مسبق تحديدة يكافئ لكل الجهد المطلوب والجهود القادمة من أقطاب الإحساس (Sensing Electrode) من الزنك أو الفضة/ كلوريد الفضة حيث تقارن بالقيمة الحالية.

يتم عند الرفع الآلى لخرج الجهد من معدل التيار أو تنزيله حتى تتطابق القيم مع أقطاب الإحساس مع ± مليفولتات للرقم الحالى. لوحة التحكم المجمع للأنود تشبه لتلك الموجودة فى معدة التحكم اليدوى. فى بعض الحالات يتم توصيل مرحلات (Relays) احتياطية ، مع التحكم فيها بواسطة مفاتيح التحديد لتوفير خرج تيار منخفض من دوائر معينة لأى مبردات أو الوحدة التى تكون فى الاحتياط وليس بها تدفق للمياه رغم احتوائها على الماء.

جـ- التحكم الآلى : Automatic Control

بينما أنه من الممكن استخدام الطريقة السابقة للتحكم الآلى للمعدة التى تتراوح ما بين 5 أمبير إلى حتى 1000 أمبير، إلا أن استخدام ذلك يكون غير اقتصادى بالنسبة للمبردات المساعدة، والمعدات المشابهة التى تتطلب خرج من 5 أمبير حتى 50 أمبير وحتى لمكثف صناديق الماء الرئيسى التى تتطلب حتى 100 أمبير فإنه عادة يستخدم نظام معيارى (Modular) . هذا النظام مبنى على تعديل التيار حيث التحكم يدوياً والمغذى بالتيار المستمر إلى غرفة محتوية على عدد من التحكم لخرج معايير الآنود. كل معيار يحتوى على تجهيزه دائرة مطبوعة ، مع دائرة معدل تقليل التيار وخـــافض الحرارة حاملاً الخرج الرئيسى للترانزستور. عمل كل معيار مستقل يشبه ذلك لمعدة المقوم الترانزستورى (Thyristor) السابق شرحها فى أن الجهد الحالى يقارن بالتغذية.

ثانياً من قطب الإحساس المركب فى المعدن الجارى حمايته. ولكن، فإنه من الممكن بهذا النظام لأى ثلاث مبردات متجاورة حمايته عند مستويات مختلفة كلية طبقاً لظروف تشغيلها بدون اللجوء إلى مفاتيح التحديد.

6- الآنودات : Anodes

عندما يكون المطلوب كميات صغيرة من التيار أو حيث الطاقة الكهربية غير متاحة، فإن الأنود الجلفنى هو الذى يستخدم عادة. عندما يكون المطلوب تيار كبير نسبياً مع توفر المصدر، فإن آنود التيار التأثيرى يكون هو الاقتصادى.

أ- الأنودات الضحية Sacrified Anodes

الآنوادت الضحية هي من معدن أقل ندرة عن المنشأ المطلوب حمايته. حيث أنها تتآكل على حساب حماية معدن المنشأ وهى بهذا تمرر تيار إلى المعدن الأكثر ندرة (More Noble). هذه تكون خلية أولية كبيرة فى الإليكتروليت، حيث المنشأ المطلوب حمايته يعمل لكاثود. التيار السارى خلال الإليكتروليت يسبب حدوث التآكل التدريجى للآنود، ولذا سمى الآنود الضحية (Sacrified). المعادن الضحية المستخدمة عادة هى المغنسيوم ، الزنك ، الألومنيوم وهى عموماً فى شكل السبيكة لتوفير آنود أكثر كثافة. بسبب جهدهم المنخفض، فإنه نادراً ما يكون استخدامهم اقتصادى فى الإليكتروليت الذى مقاومته تزيد عن 30 أوم متر.

آنودات التيار التأثيرى : Impressed current Anodes

أنودات التيار التأثيرى تحصل على الإمداد بالتيار من معدل المحول المعدل للتيار (Trans former rectifier Equipment) ويمكن بذلك أن تكون من أى معدن القادر على تمرير التيار من سطحها إلى الإليكتروليت. الآنودات المستخدمة فى الماضى شملت خردة الحديد، الجرافيت، الحديد عالى السيليكون، الرصاص / الفضة، الرصاص/ البلاتين، التيتانيوم المغطى بالبلاتين والنيوبيوم المغطى بالبلاتين. فى الأيام الأول للحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى ، كان الحديد عالى السيليكون هو المميز، وكان يثبت فى الموقع المطلوب حمايته بواسطة سنادة من السيراميك العازل ، لكونه من الحديد الزهر السبيكة المحتوية على 14% سيليكون وله معدل استهلاك حوالى ا كجرام/ الامبير فى العام لذلك فإن هذا الأنود كان ضخماً وعمره قصير فى ماء البحر ويصعب تصنيعه ولكونه هش ويصعب تداوله. الرصاص عند سبكه مع 1-2% فضه، 6% أنتيمون فإنه يكون آنود عملى للحماية الكاثودية شريطة تكون طبقة من ثانى أكسيد الرصاص(PbO_2) على سطحه وذلك بتنشيط الآنود فى مياه مالحة عند كثافة تيار منخفضة يتم التحكم فيها بحرص. بمجرد تكون طبقة أكسيد الرصاص فإنه يكون قدراً على العمل عند كثافات تيار حتى 200 أمبير على المتر المربع.

سبيكة الرصاص المحتوية على 0.1% فضة ، 0.01% تريليوم وتوافق مع قطب البلاتين فإنها تكون سبيكة آنود ذات تأثير رائع. القطب المزدوج من البلاتين (Pr – Bi – Electrode) يعمل على تكوين طبقة ثانى أكسيد الرصاص على سطح الآنود عند كثافات تيار أعلا عن الآنودات التقليدية من الفضة/الرصاص ، كما تساعد كذلك فى إعادة تكون طبقة ثانى أكسيد الرصاص ، عند تلف سطح الآنود. أثبتت الخبرة أن هذا الآنود قادراً على التحمل عند كثافات تيار ما بين 100 – 500 أمبير/ المتر المربع من السطح النشط.

البلاتين الصلب مكلف جداً للاستخدام كآنود عدا فى الاستخدامات الخاصة. ولكنه يستخدم كطبقة رقيقة من البلاتين مرسبة أو مدرفلة (Rolled) على أساس من التيتانيوم أو النيوبيوم. معادن الأساس هذه تستخدم حيث فى الظروف الآنودية فإنه يتم حمايتها بواسطة طبقة ملتصقة خاملة وسطح غير موصل من طبقة الأكسيد، وبذلك فإنها تقاوم التآكل فى أى فاصل من التغطية بالبلاتين. بالترسيب المعدنى الجزئى للآنود (Partilly plating the anode) فإنه يمكن حصر انتقال التيار إلى الاليكتروليت لتلك المساحات حيث يمكن أفضل استخدام مؤثر لها.

التيتانيوم المغطى بالبلاتين هو المادة المستخدمة فى معظم الآنودات فى محطات القوى ، وهى تصنع فى أشكال مختلفة كثيراً ولكن الشكل المستخدم أساساً هو شكل القضيب أو الشكل الأنبوبى. الأحجام يبدو أنها قياسية وتتراوح من 4 ميليمتـــر للقطر حتى 8 مليمتر بالنسبة لآنود القضيب المستمر، 12 مليمتر للآنود الصلب الكابولى، قطر 19 مليمتر للآنود الأنبوبى الكابولى. آنودات القضيب المستمر تكون مغطاة بالبلاتين على كل الطول وآنودات الكابولى تكون مغطاة لبوصات قليلة فقط عند النهاية البعيدة عن المنشأ الجارى حمايته. الآنودات الأنبوبية الكابولى (Tubular cantliver) هى المستخدم عموماً فى نظام مياه التبريد لمحطة الطاقة. وهى تعمل عادة عند كثافات آنود من 500 أمبير/ المتر المربع ويمكن أن تصل كثافة التيار حتى 1000 أمبير/المتر المربع. شريطة عدم زيادة الفولت بين الآنود الأسمى والأليكتروليت عن 6 فولت.

إنشاء الآنود :

طريقة الإنشاء تختلف كثيراً طبقاً لنوع الآنود والمكان. عادة يتم تثبيت الآنودات الضحية باللحام المباشر مع المنشأ المطلوب حمايته أو بالتوصيل المباشر مع مسمار النحاس المثبت سابقاً.

آنودات التيار التأثيرى تنشأ بعدة طرق، أبسطها هو بعمل ثقب مباشر فى جدار الغرض. آنود الكابولى يتوفر فى تجهيزه تركيب مقلوطه وعند تركيبة فى المعدة فإنه يسمح بالآنود النشط بالبروز فى المجال المائى حيث كابل التوصيل يكون خارجياً. عادة يستخدم النوع بالفلنجة ويمكن وضعه مع صرة رباط على الوجه الخارجى بحيث ينتأ الآخر إلى فراغ الماء كما سبق. أو أن الفلنجة يمكن وضعها على السطح فى فراغ الماء حيث تكون وصلة الكابل داخلية. الآنودات المستمرة بقطر 4 مليمتر أو 8 مليمتر تكون من التيتانيوم وتكون مغطاة بالبلاتين ، وتوضع فى فراغ الماء للمبرد بجوار لوحة الأنابيب أو المصافى فى مكان مناسب. يكون من الأساسى ألا تلتصق بالمنشأ حيث تركب على شريط عزل صلب أو على حامل للعوازل بفواصل 200 مليمتر.

7- الأقطاب القياسية / أقطاب الإحساس (Reference/Sensing Electrode)

الأقطاب القياسية تصنع من قضيب من النحاس عالى النقاء مغمور فى محلول عيارى من كبريتات النحاس. الالتصاق مع الأليكتروليت يتم من خلال سدادة مثقبة من السيراميك. أو من الخشب والتى تظل مبلله بالارتشاح والنشع فى محلول كبريتات النحاس. هذا النوع من الأقطاب القياسية يستخدم مع مقياس الفولت المحمول عالى المقاومة ويمكن غمرة بنهاية طول الكابل فى أى منشأ مفتوح محتويا على الماء. فمثلاً فى المصافى الأسطوانية أو مصافى الخلجان فى منطقة مأخذ مياه التبريد. كما يمكن استخدامه كذلك فى القياسات فى المنشآت المقفلة بواسطة كوبرى مسامى مركب فى وعاء غير معدنى ، ولكن بسبب مشكلة التحكم فى المياه والإحكام لا تستخدم هذه الطريقة عادة.

قطب الزنك القياسى : (Zinc anode reference electrode)

الزنك فى مياه البحر النظيفة يوفر بيانات كافية ودقيقة لجهد المعدن المستخدم خلال نظام تدوير المياه. من المهم أن يكون الزنك عالى النقاء حيث يوصف الزنك بدرجة نقاء 99,96% مع محتوى من الحديد لا يزيد عن 0.0014%. هذا المعدن يوفر قطب منخفض التكلفة نسبياً ونشط ويعتمد عليه خلال ± 30 مليفولت ، وهذه كافية للمراجعة الدورية. يجب الحرص عند درجات الحرارة المرتفعة حيث يتعرض الزنك إلى تغير كبير فى الجهد عند ارتفاع درجة حرارة الماء. يحدث ارتباك عند حدوث الحماية الزائدة (Over Protection) حيث يمكن لقراءة الجهد أن تنخفض حتى الصفر وبذا تعطى قراءة سالبة. آنود الزنك القياسى يثبت بالقلاوظ.

قطب الفضة/كلوريد الفضة القياسى :

يحتمل أنه الأكثر اعتماداً عليه من بين أنواع الأقطاب القياسية ، حيث أن هذا القطب يحتوى على فضة نقية كموصل موجودة خلال خليط من الجسيمات الصغيـــرة

للفضة وكلوريد الفضة. كل هذا يكون داخل وعاء مثقب ليسمح بالالتصاق مع الإليكتروليت. وجد أن الدقة هى حوالى ± مليفولت. رغم تكلفتها العالية مقارنة بقطب الزنك، فإنه تتم المعايرة على هذا القطب عندما يكون المطلوب هو التحكم الآلى فى الجهد.

جهود الحماية النموذجية فى مياه البحر :

القطب القياسى	الاليكتروليت	جهد الحماية فى 20 أوم سم مياه البحر عند 20ْ م
كالوميل	KCl المشبع	– 0.8 فولت
Ag/AgCl	ماء البحر	–0.8 فولت
$Cu/CuSO_4$	محلول مشبع من كبريتات النحاس	–0.85 فولت
الزنك	ماء البحر	+ 0.240 فولت

عند الاستخدام المستمر وتثبيته وخاصة عند الاستخدام كأقطاب الإحساس (Sensing) لنظم التحكم الآلى، فإنه يجب أن يكون للأقطاب مساحة سطحية مناسبة وأن تستخدم مع دوائر قياس وتحكم عالية الهبوط لتجنب الاستقطاب وخفض تأثير الهبوط فى الجهد (IR drop) فى الدائرة. الجدول (11/1) يوضح علاقة ثلاث مقاييس قياسية ويوضح مجالات الجهد للحماية الجزئية والقصوى والزائدة.

الجدول (11/1) العلاقة ما بين مقاييس القطب القياسى ومستوى الحماية الكاثودية

بيـــــان	الجهد المقاس للقطب		
	قطب الزنك	قطب الفضة/ كلوريد الفضة بالمليفولت	قطب النحاس/كبريتات النحاس بالمليفولت
حماية كاثودية مسبقة أو جزئية	550 +	500-	550-
	450 +	600-	650-
	350 +	700-	750-
أقصى منطقة	250 +	800-	850-
	150 +	900-	950-
	050 +	1000-	105-
حماية كاثودية	050-	1100-	1150-
	150-	1200-	1250-
	250-	1300-	1350-
	350-	1400-	1450-

الرجوع السلبى: Negative Return

عزل كابل الحمل السالب من عودة قطب الإحساس القياسى يكون أساسيا. عملياً تستخدم كوابل منفصلة لتجنب أى مشاكل مصاحبة بانخفاض الفولت الذى يحدث فى كابل الحمل السالب.

8- كثافات التيار والجهود المستخدمة :

التيار المطلوب لحماية وحدة المساحة السطحية يتوقف على عدد من المتغيرات. أهم هذه المتغيرات هو المعدن المطلوب حمايته ، ووجود أى التصاق بين معدنين، السرعة

المتغيرة لسريان الماء، التهوية ودرجة الحرارة. كل ما سبق ثابت إلى حد ما بالنسبة لأى غرض مطلوب حمايته. كما يجب أن يؤخذ فى الاعتبار نوعية التغطية والتى سوف تختلف مع عمر المعدة، مياه التعويض، مع تهويتها والتى سوف تتأثر بالظروف فى المنطقة التى يتم سحب المياه منها.

كثافات التيار من 100 غلى 500 مليأمبير/ المتر المربع تستخدم للمواسير الغير مغطاة والتى تتدفق فيها المياه، مع التوزيع الجيد للأنودات فإن كثافة التيار 200 مليأمبير على المتر المربع هى عادة كافية بالنسبة للاستقطاب الأولى الذى يليه مستوى تشغيل من 100 إلى 150 مليأمبير/ المتر المربع.

فى حالة المصافى الأسطوانية الدوارة والمصافى ذات الشريط المتحرك وباستخدام أنودات بعيدة فإن الحماية الجيدة يمكن تحقيقها بكثافة تيار 100 مليأمبير/ المتر المربع لكل من الأجزاء المعدنية الثابتة والمتحركة. ولكن بالنسبة لشبكة المصفاه المصنوعة من الصلب المقاوم فإن كثافة التيار المستخدمة تكون 200 مليأمبير/ المتر المربع. الحماية التى بنيت على ما سبق وجد أنها مؤثرة حتى فى حالة معظم المنشأ كونه باستمرار فى أو خارج الماء.

بالنسبة لطلمبات تدوير المياه فإن متوسط كثافة التيار 500 مليأمبير/المتر المربع لكل المساحة السطحية المبتلة أثبت نجاح خلال عدة سنين من الخدمة. توزيع الأنودات يعتبر أساسى ، كذلك الربط الكافى العامود الإدارة والدافع مع ممر عودة التيار للدائرة.

صناديق مياه المكثف كانت موضع نقاش لفترة طويلة. قيمة 250 مليأمبير/المتر المربع من المساحة الكلية للسطح المبلل لكل من الصندوق ولوح الأنابيب وجد أنه كافى لحدوث الاستقطاب الأولى مع مستويات تشغيل 50 % إلى 60% من هذا الرقم. أرقام مشابهة تنطبق على المبردات المساعدة والمصافى المساعدة حيث تحتاج إلى كثافة تيار تشبه للمصفاة الدوارة السابق مناقشتها. يجب التأكيد على أن الأرقام التفصيلية السابقة باستثناء المصافى الأسطوانية الدوارة مبنية على نظام أنود جيد التوزيع.

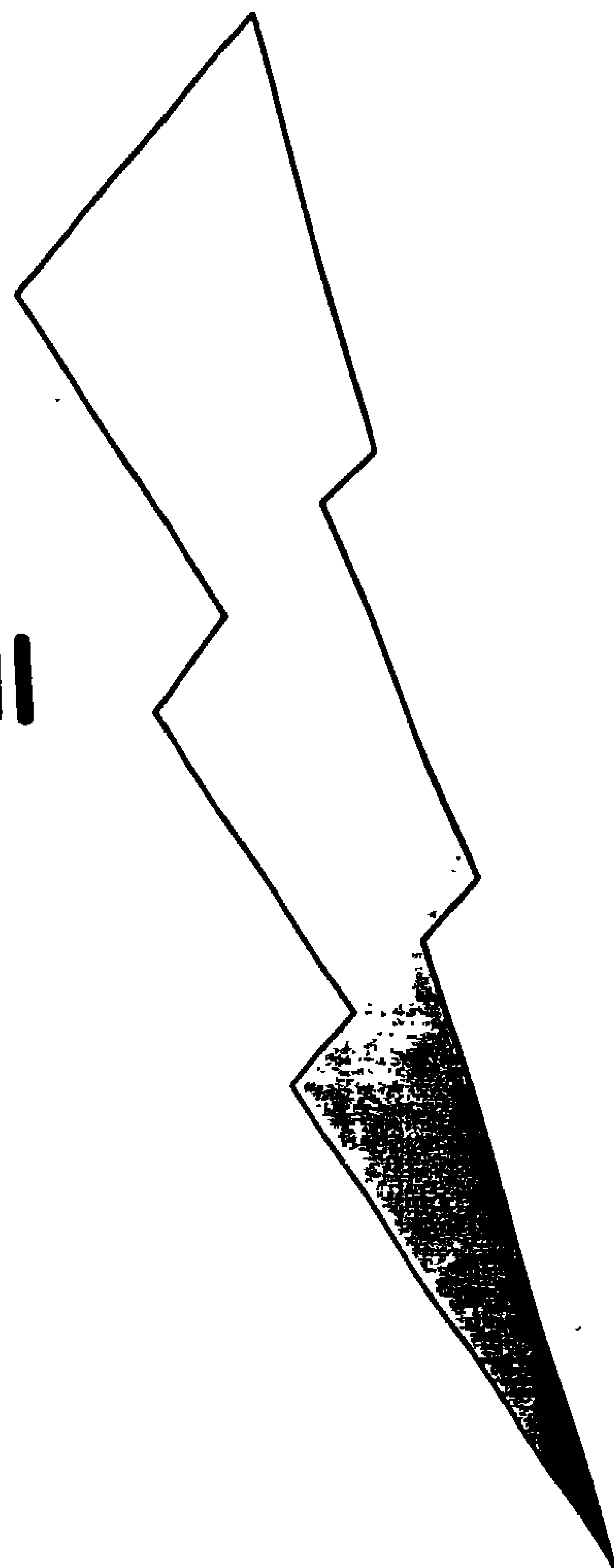
الأرقام المذكورة بنيت على المنشآت الغير مغطاة أو ذات التغطية الضعيفة، وعند وجود التغطية الجيدة فإن كثافة التيار يمكن أن تقل طبقاً لكفاءة التغطية.

المستوى العام المقبول للجهود اللازمة لايقاف التآكل هى -0.8 فولت بالنسبة لقطب الفضة/كلوريد الفضة (كقطب مؤشر). وقد يكون هناك تأرجح فى الجهد بقيمة 0.3 فولت وفى حالة الظروف اللاهوائية فإن تأرجح الجهد لقيمة 0.1 فولت إضافى يمكن أن يكون ضرورى.

من الناحية العملية فإن تلك المستويات توفر توازن جيد ما بين الحماية الكافية وزيادة تراكم الترسيبات الكلية. الترسيبات الكلية مفيدة فى حالة الرواسب الصغيرة والرقيقة ولكن مخاطر الزيادة حيث يمكن أن تتفتت وتعمل على غلق مكونات مخرج نظام تدوير المياه. الحصول على هذه المستويات يجب مراجعته بالملاحظة البصرية حيثما أمكن ذلك مع ضبط مستويات الحماية المناسبة.

الفصل الثانى عشر

إمدادات الطاقة
ونظم التحكم الثابتة



إمدادات الطاقة ونظم التحكم الثابتة

Power Supplies and fixed Monitoring Systems

1- المبادئ الأساسية :

تآكل المعدن فى الإليكتروليت هو عملية كهروكيميائية . التدفق المعاكس للأيونات والإليكترونات ما بين الكاثودات والآنودات المحلية على سطح المعدن فى مجال عدوانى يسبب إيجاد تيار كهربى. الحماية من التآكل بطريقة الحماية الكاثودية هو إدخال طريقة لانعكاس هذا التيار الكهربى. أساسا يمكن إدخال بطارية ذات قطبية معاكسة (Opposite polarity) إلى خلية التآكل. تقوم الآنودات الضحية بهذا العمل بسبب الفرق الطبيعى فى الجهد ما بين مادة الآنود والمنشأ المطلوب حمايته.

يمكن كذلك استخدام المصادر المتاحة من الطاقة الكهربية، جنباً إلى جنب مع الآنود لتكون خليه كاملة كما فى الشكل (12/1) وبذا تستبدل البطارية. من المهم أن يكون التيار المغذى والمؤثر من مصدر تيار مستمر وليس من مصدر تيار متردد.

المصدر العادى للطاقة الكهربية المتاحة للاستخدام العملى هو مصدر التيار المتغير عند جهود (Voltages) 110 ، 240، 440 فولت (50 to 60 Hz) بنظم مجال فردى أو ثلاثى (Single or 3 phase systems).

فى الشكل (121/2) توضيح لأبسط طريقة لتوفير تيار ثابت (DC) من تيار متغير. المحول الموجود (Transformer) هو وسيلة لتغيير جهد (فولت) الإمداد إلى رقم أقل. شكل موجة (دورة) التيار المتغير والمقابل من التيار الثابت المنتج حيث شكل الموجة موضح. هذا الشكل المبسط هو غير كافى عملياً، حيث فقدت نصف دورة واحدة من التيار المتغير الأصلى.

الشكل (12/3) يوضح دائرة مطورة، باستخدام كوبرى لموجة كاملة (Full wave bridge) لتوفير تيار ثابت تام التعديـــل (Fully rectified). حالياً تم استعادة نصف الدورة المتغيرة التى سبق فقدها ولكن التيار مازال فى اتجاه واحد (Uni directional). فى حالة عدم إنتاج التيار الثابت بواسطة التعديل (Rectification) ليكون موجة كاملة

(Full ware) فإنه يكون ذو قيمة قليلة كمصدر تيار ثابت يمكن استخدامه كتيار تأثيرى فى الحماية الكاثودية.

شكل موجة الجهد (الفولت) الناتج بالدائرة فى الشكل (12/3) هى من مصدر طاقة من تيار متغير وحيد الطورجيبى (Single phase sinusoidal AC). تردد الموجة الصغيرة (Ripple frequency) يكون ضعف تردد مصدر التيار المتغير أى من (100 to 200Hz) ، جهد النموذج (فولت التموج) يكون 49% من متوسط قيمة التيار المتغير (DC) عند قياسه بفولتميتر كهربى باللفات المتحركة (Moving coil). التيار التأثيرى يكون طبقاً لقانون أوم

حيث :

I_{dc} = التيار بالأمبيرات

V_{dc} = فولت التيار التيار

R = مقاومة الدوائر من معدل التيار، خلال الكابل إلى الآنود، الآنود إلى "مقاومة الإليكتروليت ومقاومة ممر العودة خلال (ماء البحر) ، من المنشأ إلى الطرف السالب لمعدل التيار. (من الناحية العملية فإن المقاومة R معقدة ذلك أن التقدير الدقيق لقيمتها يمكن عملة فقط بعد إنشاء المنظومة. ولكن ، التقدير المناسب لقيمتها فى مرحلة التصميم يمكن عملة واستخدامه للحصول على متطلبات الإمداد بالتيار). سيتم مناقشة قيمة مقاومة الحمل للتيار المستمر فيما بعد.

الدوائر التى نوقشت نصف التعديل من دوائر وحيدة الطور (Single phase). عملياً فإنه يؤخذ فى الاعتبار إمدادات ذات الطور الثلاثى (3 phase) و معدلات (Rectifiers) ذات الطور الثلاثى وخاصة عندما يكون المطلوب طاقات كبيرة. (راجع الشكل (12/4) بالنسبة لتفصيلات دائرة نموذجية). مختلف الأشكال تنتج خرج لشكل الموجة كما فى الشكل. شكل الثلاثة أطوار سوف يوفر الفولت الموجى (Ripple Voltage) بنسبة 4% أو أكثر وحتى إلى 49% فى أسوأ الحالات للموجة الكلية للمعدل بالطور الوحيد

(For single phase full ware rectifier). الجدول (4/1) يوفر التفاصيل عن الفولت الموجى والتردد. بالعودة ثانياً للمعادلة رقم (4/1) فإن جهد التيار المستمر المطلوب لدفع التيار التأثيرى يمكن حسابه. الفولت للتيار المستمر المطلوب هو عادة أقل من جهد المصدر (Supply). لذلك يلزم محول (Transformer) والذى يكون مناسباً للإمداد بالتيار المتغير المتوقع، يتوقف الفولت الثانى على نوع المعدل الذى اختير وعلى فولت التيار المستمر المطلوب عند أطراف المعدل. التصميم التفصيلى للمحول سوف يتوقف كذلك على نوع التحكم المستخدم. بصرف النظر عن شكل المحول/ المعدل المختارين، فإنه يلزم الاهتمام بفقد الطاقة والذى يحدث فى مختلف عناصر الطاقة. لمنع زيادة السخونة للمعدة، تستخدم عدة طرق متاحة للتبريد وهى:

- التبريد الطبيعى بالحمل (Convection) فى حجرة مهواة.
- التبريد الطبيعى بالهواء بالحمل (النقل) مع الغمر الكلى للمعدات فى سائل غير موصل مثل الزيت المعدنى أو سائل السيليكون، حيث تشع الحرارة من الحائط الخارجى للوعاء.
- المكان المغلق تماماً، حيث الإشعاع الحرارى، فى الداخل يمكن أن ينتقل إلى الحوائط الخارجية ، والتى لها المساحة الكافية لإشعاع الحرارة المتولد والمحافظة على درجة حرارة الهواء الداخلى عند المستوى المقبول.
- التبريد بدفع الهواء للمعدل والمحول باستخدام المراوح للتهوية.
- الانتقال الحرارى من المعدلات والمحولات باستخدام مواسير تبريد والمبادلات الحرارية.
- التبريد بالماء وخاصة فى حالة الطاقات الكبيرة جداً.
- عندئذ يكون المطلوب مواصفات تفصيلية لمصممى معدة التعديل بخصوص.
- التغيرات المتوقعة فى درجات الحرارة.
- المكان: داخل غرفة مغلقة أو خارج الغرفة.
- المكان الجغرافى والحاجة إلى مظلات للحماية من الشمس .. الخ.

- رطوبة الهواء الجوى.
- الطبيعة المجال المحيط مثل الحمل للأملاح، العدوانية، الرياح، ظروف الأتربة.

جدول (4/1) التردد الموجي ومعاملات الفولت لمختلف نظم المعدل

وصف دائرة المعدل	التردد الموجى	الفولت الموجى
الطور الواحد (Single Phase)		
نصف موجة Half wave	F	1.21
كوبرى Bridge	2F	0.49
مزدوج الموجة Bi-phase	2F	0.49
ثلاثى الطور (3 phase)		
نصف موجة Half wave	3F	0.18
نجم مزدوج Double star	6F	0.04
كوبرى Bridge	6F	0.04

2- تنظيم خرج التيار للحماية الكاثودية.

Control of output current for cathodic protection

المعدلات المحولة (Trans former rectifiers) تكون مطلوبة لتوفير وسيلة للتحكم، ولتمكن مهندس التآكل من البحث عن أفضل ظروف للتشغيل أثناء الأداء الأولى ثم عمليات الضبط التالية. توجد عدة طرق لذلك.

(1) التحكم فى فولت التيار المتغير للجهاز المعدل (Rectifier) بواسطة:

- نقط تفرع (taps) على الثانى للمحول والتحويل المناسب بواسطة محولات دوارة (Rotary switches) [وهذه خاصة بالطاقة الصغيرة].
- التغذية بفولت متغير إلى الأولى للمحول (Primary of the transformer) باستخدام محول آلى (Auto-transformer) بفرعات فولت (Voltage taps)

واستخدام مفاتيح تحويل (Switches) لاختيار الفولت المستخدم إلى الأولى للمحول ذو اللفات المزدوجة.

- التحكم فى الفولت إلى الأولى للمحول بواسطة محول آلى (Auto transformer) من النوع الدوار (Rotary) أو متغير الفولت (Variac).

(2) التحكم فى خرج فولت التيار المستمر (DC) إما باستخدام المضخم المغناطيسى (Amplifier) فى تجهيزه المعدل بالتحكم السيليكونى (Silicon controlled Rectifier Device).

أى من الطرق السابقة يمكن أن يستخدم فى التحكم بالطرق اليدوية. نظم التيار التأثيرى يمكن كذلك أن تتطلب تحكم آلى حيث تأثير تيار المعدل على التآكل يتم إدارته بواسطة أنصاف الخلايا، بما يمكن من تغيير الظروف لزيادة أو خفض التيار التأثيرى حسب الحاجة. النظم الآلية عادة تستخدم أجهزة تعديل مسيطر عليها (Controlled Rectifiers) ، ولكن مازالت المضخات المغناطيسية تستخدم كما أن بعض النظم تستخدم محركات خدمة لتشغيل المحولات الدوارة (Rotary Transformers)

أ- مواصفات المعدل/ المضخمات:

(Specification of transformer/ rectifiers)

من المهم معرفة أن هناك عدد من المواصفات المتعلقة بالمكونات المستخدمة فى المحولات/المعدلات. لذلك فإنه من المهم لمهندس التآكل أن يعرف متطلباته بوضوح وبدون غموض مع الأخذ فى الاعتبار المواصفات والمعايير التى قدمها المنتجون.

ب- كفاءة المحول/ المعدلات :

الفقد فى الحرارة الخاص بالمحولات، المعدلات ، الموصلات ، الفيوزات والعوازل ، وأطراف الكوابل جميعهم يقلل الكفاءة الكلية لنظام التغذية بالتيار التأثيرى. كذلك من المهم معرفة أن هذه المعدات تستهلك الطاقة باستمرار على أساس كل عام. ومع استمرار ارتفاع تكاليف الطاقة فإنه يجب مراعاة تكاليف التشغيل. لذلك فإن الحرص فى التصميم يمكن أن يحسن من الكفاءة ، رغم أن الكفاءة العادية للمحولات والمعدلات هى من 65 -

90% عند أقصى تحميل. عند ظروف التشغيل لنظم التيار التأثيرى أقل من أقصى تحميل فإن الكفاءة سوف تنخفض.

الصعوبات المتعلقة بالنسبة لمعامل الكفاءة والطاقة تحدث عموماً عند تكون معدات المعدل/ المحول جزء رئيسى من الحمل الكلى المتصل وخاصة فى المناطق البعيدة.

جـ- مرشحات التيار المستمر لتموج وتأثير الفولتات الموجة الصغيرة:

DC Ripple filters and effect of ripple voltages:

الفولت الموجى المصاحب مقيم لنسبة مئوية لمتوسط خرج الفولت من التيار المستمر لمختلف أنواع أجهزة التعديل للتيار موضحة فى الجدول (4/1) من وجهة النظر هذه فإن أنظمة الثلاث مجالات (3 phase) مفضلة عن المجال الواحد، ولكنها تسبب ارتفاع فى التكاليف الرأسمالية.

اختلاف وجهات النظر حول الحاجة إلى التحكم فى الفولت الموجى للتيار المستمر قد أدى إلى توصيف التحكم القريب للفولت الموجى وفى بعض الحالات تم طلب 5%. بينما المصممون يمكن أن يحققوا زيادة فى التكاليف سريعة وخاصة فى حالة المحولات/ المعدلات للطاقة الكبيرة (التى تزيد عن 100 أمبير).

يمكن التحكم فى الفولت الموجى باستخدام مرشحات ذات تردد منخفض مصنوعة من حث و/أو مكثفات (Inductance and or capacitors) متصلة بخرج المعدل، وهو التقنية المستخدم عادة فى إمدادات الطاقة بالتيار المستمر للعدة الإليكترونية.

تتوقف درجة التنعيم (Smothing) على قيمة الحث/ المكثف المستخدم الحاجة إلى مرشحات موجية كانت إلى حد كبير نتيجة عدم المعرفة لما نتج عن تطوير الآنودات ذات الأساس من المعادن الثمينة. الآنودات المصنوعة من مواد مثل السيليكون – الحديد، الرصاص ، الفضة، لا يحدث لها تلف ظاهر من الفولت الموجى العالى. الآنودات المستخدمة لمعدن الأساس من التيتانيوم، نيوبيوم (Noibium) فشلت فى كثير من الاستخدام فى السنين القريبة. نظراً لأن هذه الآنودات تتطلب التغطية بالبلاتين لتمكين السطح من توصيل التيار. فشل هذه الآنودات هو نتيجة تمزق البلاتين من معدن الأساس،

وإن كان هذا السبب أصبح معروفاً. ولقد بنيت الأسباب الرئيسية لهذا التمزق طبقاً للأسباب التالية:

1. التلف الميكانيكى، وخاصة فى حالة طبقة التغطية من البلاتين تكون فى شكله شبكة أو أسلاك ملحوظة.
2. أن التردد الفولت الموجة القصير أقل من (100 Hz).
3. إنتهاكات الفولت السالب فى إمدادات التيار المستمر إلى الآنود، بسبب طرق معينة للتحكم بوحدة المعدل (Rectifier control) ، ونقص مكونات الدائرة لمنع حدوث ذلك.

يمكن التحقق سريعاً من أى كل طور وحيد (Single phase) ، حيث دوائر الموجة الكلية المعدلة ينتج تردد موجة قصيرة أساسية والتى هى ضعف ذلك من إمدادات التيار المتغير. طبيعى أن هذا التردد سيكون (100 or 120 Hz) وذلك طبقاً لتردد التيار الداخل. دوائر الأطوار الثلاثة ينتج ترددات موجة قصيرة بما يعادل ثلاث أو ستة أضعاف موجة الإمداد. لهذا فإنه نظرياً فإنه لا يلزم أى عناصر تنعيم.

ولكن عملياً ، طبقاً لطريقة التحكم فى الجهاز المعدل المستخدم (Rectifier) فإن عمل درجة من التنعيم سيكون عمل جيد. سيحدث بعض التنعيم للجهاز المعدل للتيار المستمر طواعية ، ذلك بسبب الحث (Inductance) للدائرة الخارجية. يلاحظ هذا بكثرة فى نظم الآنود الوحيد الضخم.

يرجع التلف فى الغطاء البلاتينى للآتى الحالة (1) سابقاً يمكن منعه بالدقة فى التصميم التلف بسبب فولت الموجة القصيرة (2) يمكن منعه بالإدارة والتحكم فى جهاز التعديل. الحالة (3) من الصعب منعها ذلك لأنها نتيجة قيمة الحث بكل دائرة التيار المستمر ولكن يمكن منعها بدرجة كبيرة بالتصميم الصحيح للمعدل وتثبيت المكونات التى تمكن من إنشاء الطاقة المغناطيسية المحتجزة فى الدائرة.

فى حالة مراعاة الثلاث نقط السابقة فإن إمدادات التيار المستمر من المعدل سوف لا تسبب تمزق البلاتين من التيتانيوم أو النيوبيوم.

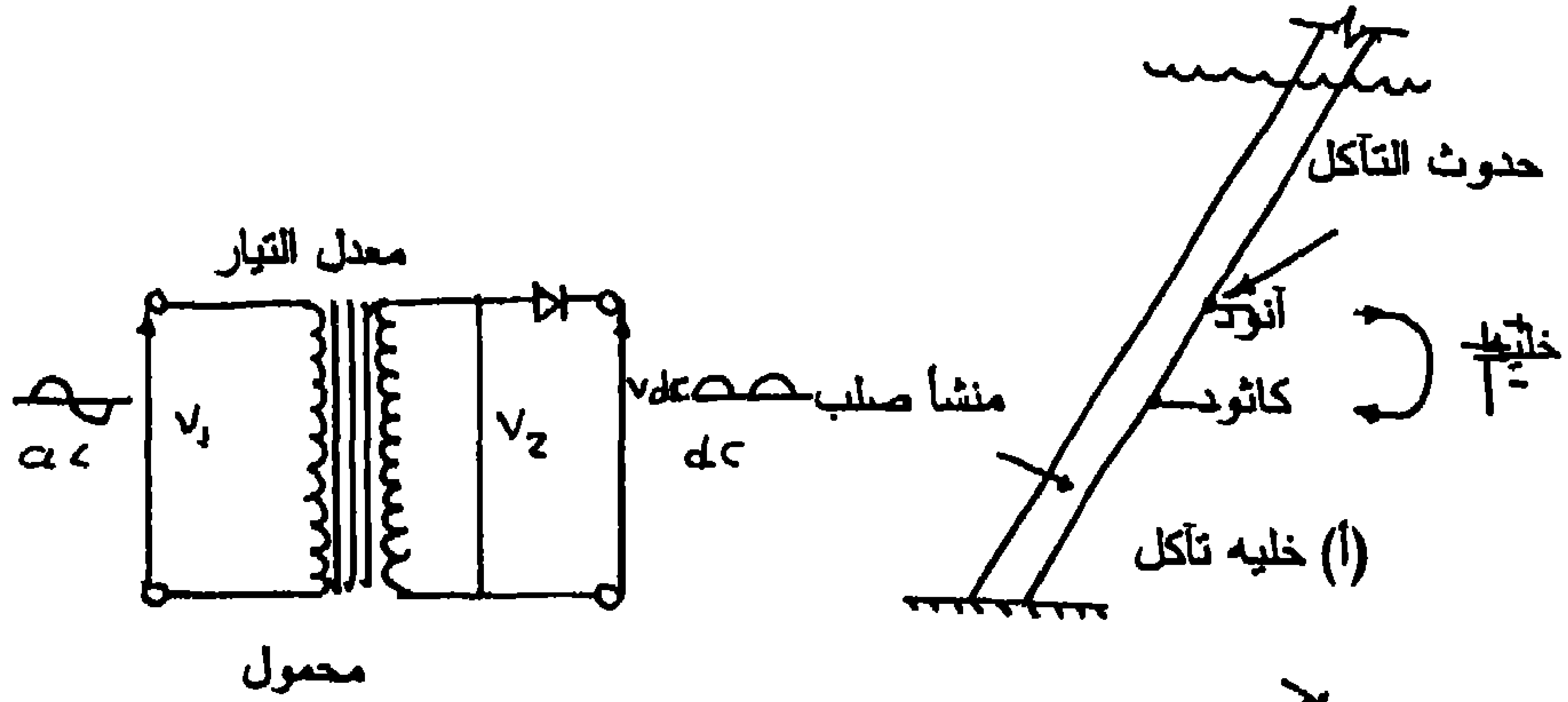
4- مصادر الإمداد بالتيار المستمر للاستخدام كتيار تأثيرى:

متطلبات الرصد والتحكم فى مقاومة التآكل يمكن أن تحدث فى المناطق الجغرافية البعيدة. ففى حالة أن التغطية للصلب أو نظم الآنود الضحية لا يمكنها توفير متطلبات الحماية من التآكل، عندئذ فإنه يتم استخدام التيار التأثيرى. فى المناطق البعيدة حيث يتعذر الحصول على مصدر طاقة مستديم يمكن اللجوء إلى البدائل التالية.

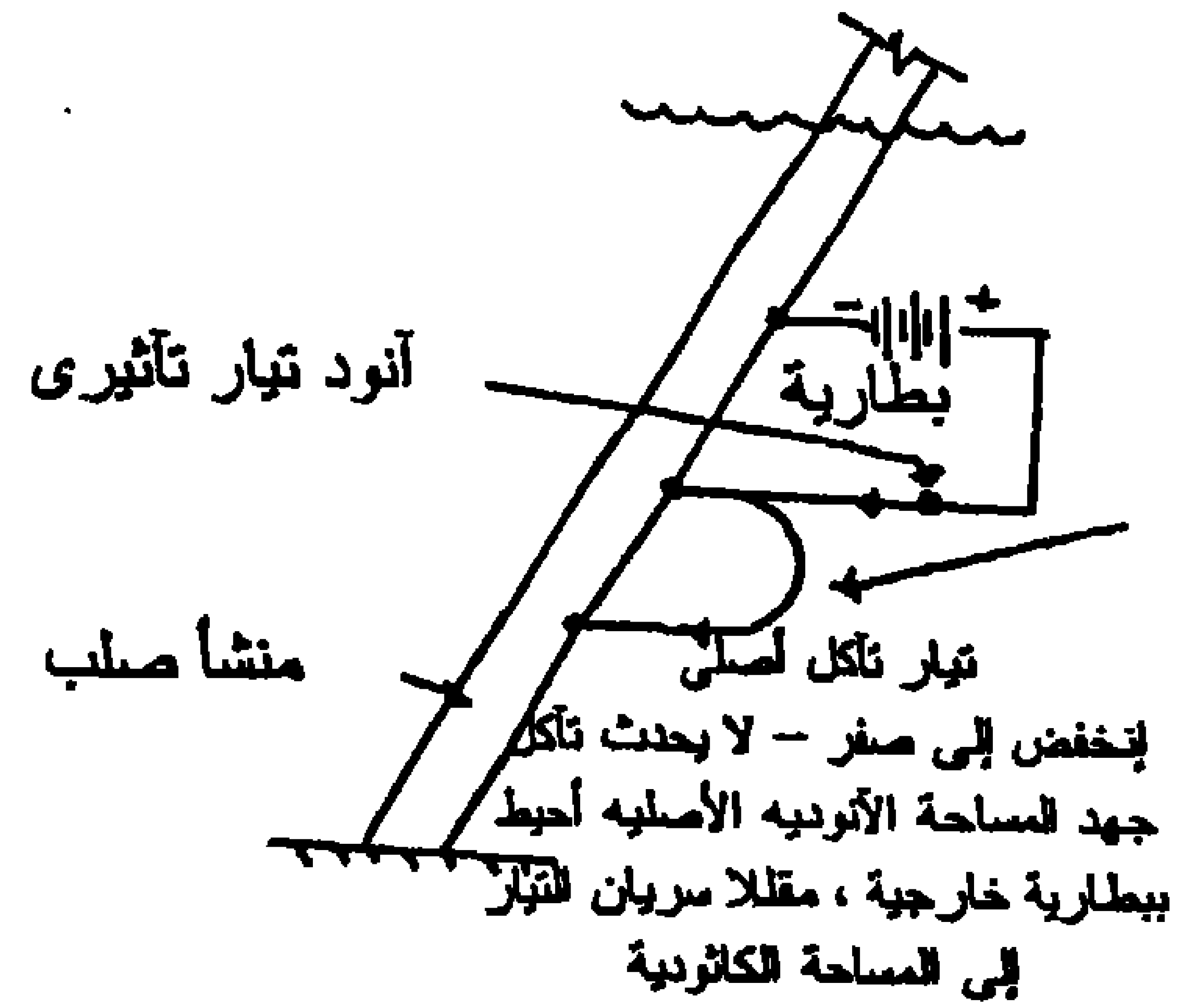
- التوليد للطاقة بمولد ديزل أو وقود لإنتاج تيار مستمر والذى يمكن استخدامه مباشرة ، أو تيار متغير مع توصيل وحدات من أجهزة المحول/ المعدل.
- التيار التأثيرى من التحول المباشر للطاقة من الطاقة الشمسية. الطاقة المتاحة من الخلايا الشمسية منخفضة ولكن يمكن توفير نظم من 15 إلى 20 أمبير. فى هذا المجال مازالت الأبحاث لتطوير التكنولوجيا وبالتالى خفض التكلفة.
- المصادر الطبيعية المتاحة للطاقة مثل طاقة الرياح، طاقة الماء، الغاز الطبيعى المحلى أو الزيت من خطوط الأنابيب. كل هذا يمكن استخدامه لإنتاج التيار الثابت المستخدم فى نظام التيار التأثيرى.

5- الحماية الكهربية لمجموعات المعدل :

كل المعدات الكهربية تحتاج إلى الحماية. طرق الحماية تمنع التلف لشبكة توزيع الكهرباء وكذلك التحميل الزائد للكوابل. أفضل تجهيزة عادية للحماية هى الفيوز المنصهر (Fuse). الفيوزات تمنع حدوث التلف للكوابل والمعدات الكهربية الأخرى فوق التيار للمعدة الكهربية التالفة. التلف هو محصلة التلف الميكانيكى بسبب التيارات الكهربية الكبيرة المعوقة (لقصر الدائرة -Short – Circuit) التى تسرى كبداية للحريق فى حالات التحميل الزائد. الفيوزات المنصهرة هى تجهيزات مقاومة للتيار، حيث زيادة التيار تسبب الانصهار والحرق للفيوز.

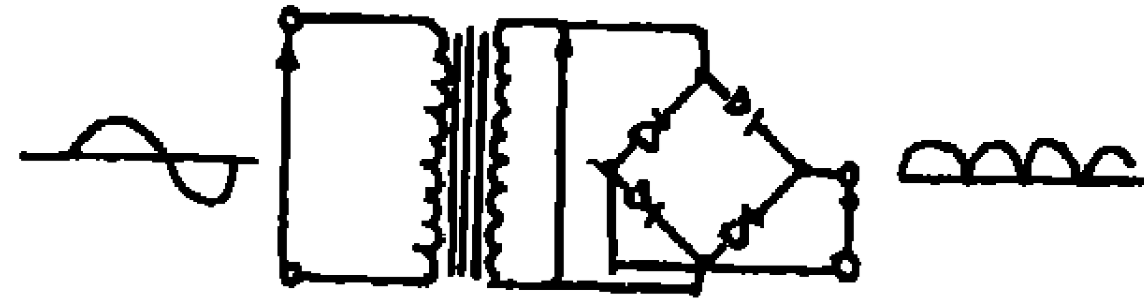


شكل (12/2) دائرة معدل التيار
البسيطة بمحول نصف موجة



(ب) خليه تآكل وآنود تيار تآثيرى

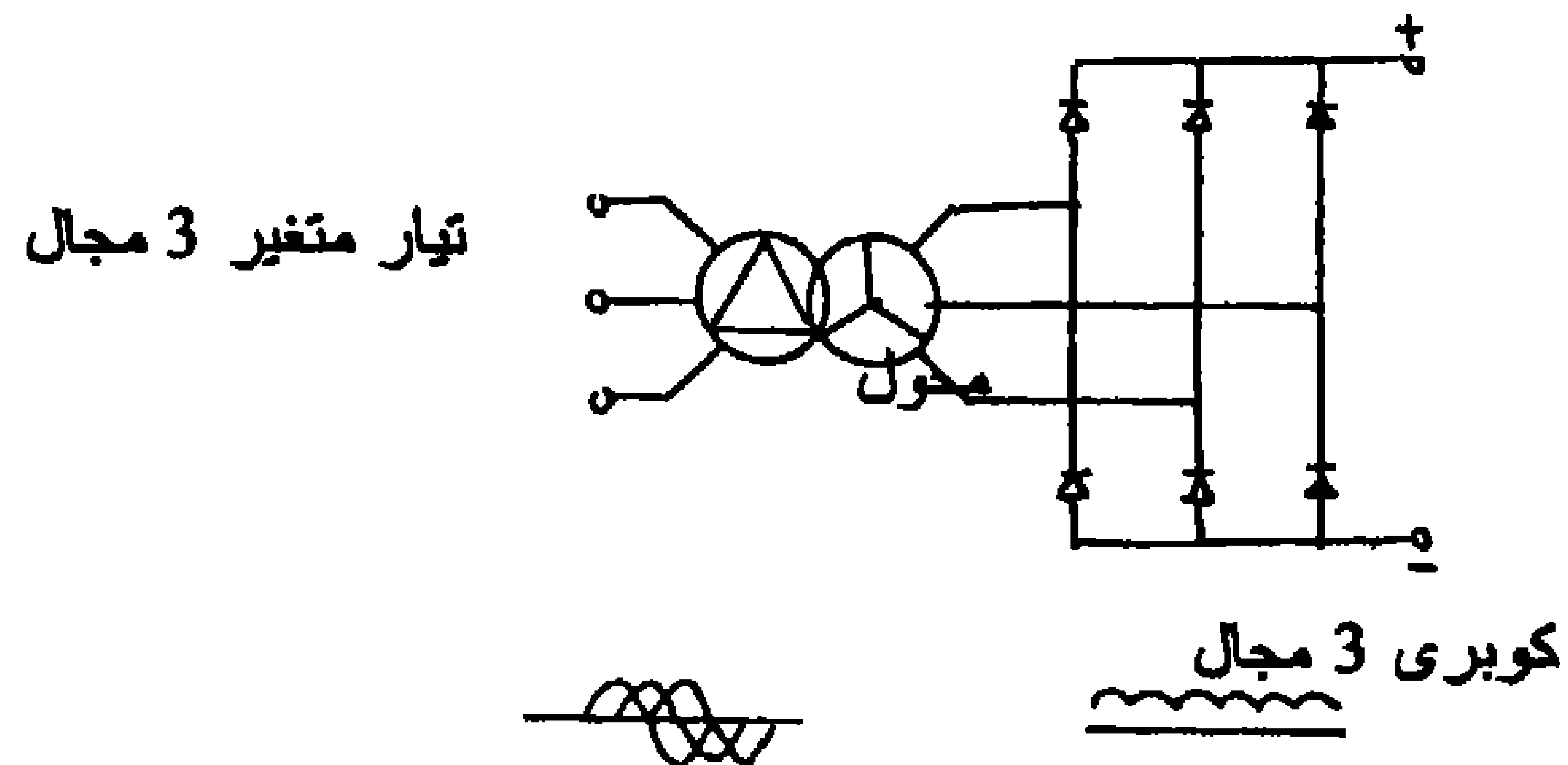
شكل (12/1) دائرة بسيطة تصور التآكل وإيقافه بالتيار التآثيرى



معدل التيار بموجه كامله

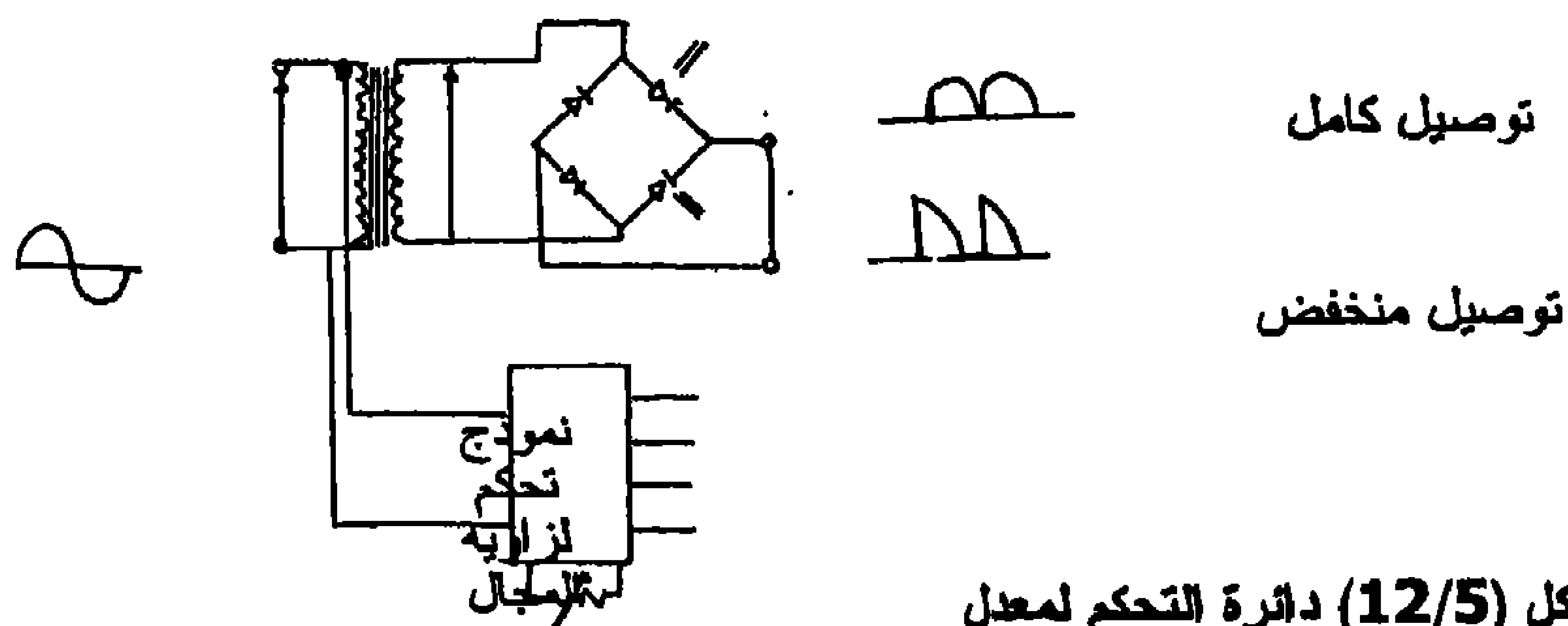
شكل (12/3) محول ودائرة معدل التيار بالموجة الكاملة وكوبرى المجال الواحد

Transformer and full wave single – phase bridge rectifier circuit.



شكل (12/4) دائرة محول ثلاث مجال / معدل التيار

3 phase transformer / rectifier circuit



برنتشيو ميتر تحكم

شكل (12/5) دائرة التحكم لمعدل التيار بالمجال الواحد

Single phase controlled rectifier circ

الفصل الثالث عشر

الآنودات الضحية
وآنودات التيار التأثيرى



الأنودات الضحية :

مقـــدمة :

الآنودات الضحية (التى تتآكل) المستخدمة غالباً فى نظم الحماية الكاثودية هى سباتك المغنسيوم، الزنك، والألومنيوم. والأنودات الأخرى الأقل استخداماً والتى قد تستخدم أحياناً هى آنودات الحديد والتى استخدمت للحماية الكاثودية للصلب المقاوم وذلك لمقاومة حدوث التآكل الكهفى (Crevice) فى مياه البحر.

آنودات المغنسيوم استخدامها محدود خارج شاطئ البحر. سبائك المغنسيوم مناسبة بالتحديد للبيئة ذات المقاومة العالية حيث يكون جهدها السالب وخرج التيار العالى لوحدة الوزن مطلوباً. خزانات المياه العزبة أو الخمضاء (Brackish water) هى المناسبة للاستخدام خارج الشاطئ. وكذلك استخدمت سيور آنودات المغنسيوم بتأثير جيد للاستقطاب المسبق (Prepolarize) للصلب وبذا يقلل من متطلبات الحماية الكاثودية بنسبة حوالى 40 – 50% هذا الاستخدام أصبح مقبولاً ذلك لأن قوة القص لوزن الألومنيوم أو الزنك أصبحت عامل حساس.

الزنك هو من أفضل مواد الأنود الضحية. سبائك الزنك استخدمت فى الآنودات الضحية فى البيئة البحرية. ولكن وجود آنودات الألومنيوم استبدل كمية كبيرة من الزنك فى مياه البحر ، أما بالنسبة للخطوط المدفونة ومكونات المنشأ الموضوعة تحت خط الطمى (Mudline) فإن الزنك مازال المحبب فى الاستخدام. كذلك فإن الزنك مازال هو الآنود المستخدم فى الأغراض البحرية والتى تكون بدن السفينة. الألومونيوم يعتبر مادة آنود جديدة نسبياً ولكن نظراً لقلة تكلفته مقارنة بالمغنسيوم والزنك دفع به إلى الاستخدام بعيداً عن الشاطئ فى مياه البحر. خصائص الكفاءة لآنودات الألومنيوم هى مرتبطة بكيمياء السبائك وبيئة الاستخدام. ولكن لسوء الحظ فإن كثيراً من سبائك الألومنيوم رغم صلاحيته كمادة آنود إلا أنه فشل مع استمرار الاستخدام. من بين 30 – 35 آنودات الألومنيوم التى دخلت السوق منذ عام 1960 حتى الآن ، فإن أكثر من نصفها اختفى من التجارة لأسباب فنية.

أ- آنودات المغنسيوم :

جهد نصف الخلية النظرية للمغنسيوم بالنسبة لمقياس الهيدروجين القياسى هو -2,37 فولت (-2.61 فولت بالنسبة لقطب كبريتات النحاس القياسى SCE). ولكن الجهد المقاس العملى لآنود المغنسيوم هو أكثر ندرة (More Noble). آنود المغنسيوم طبقاً للمواصفات رقم AZ63A (به 6% ألومنيوم، 3% زنك) له جهد -1.48 فولت بالنسبة لقطب كبريتات النحاس بينما الآنود ماركة (Galvomag) به مغنسيوم نقى محتوياً على 0.9 -1.2% منجنيز مضاف وملوثات قليلة وله جهد محول -1.68 فولت.

بصرف النظر عن الاختلاف الكبير الملاحظ بين الجهود النظرية والمقاسة للمحلول، فإن آنودات المغنسيوم عموماً لها كفاءة تيار أقل من الآنودات الجلفنية الأخرى. الخرج النظرى للتيار من آنود المغنسيوم هو حوالى 2200 أمبير ساعة/الكيلو جرام (1000 أمبير ساعة/الرطل). الكفاءة العملية الملاحظة للتيار نادراً ما تزيد عن 50 - 60%، وهذا مقارنة بآنود الزنك والألومنيوم حيث لهم كفاءات تيار أحسن من 90%. عملياً آنود الزنك فى ماء البحر له قدرة حوالى 760 أمبير ساعة/كيلو جرام (760 Ah Kg-1) وسبيكة الألومنيوم لها أكثر من 2500 أمبير ساعة/الكيلو جرام.

أنودات التيار التأثيرى :

مقـــدمـة :

القرار حول مقاومة التآكل بطريقة التيار التأثيرى للحماية الكاثودية حيث التنفيذ يبدأ بتصميم النظام يلى ذلك الاختيار لمواد الآنود ، وذلك من بين الأنواع الكثيرة لآنودات التيار التأثيرى المتاحة حالياً بالإضافة إلى ما يستجد منها. ولكن قد يكون الاختيار واضحاً فمثلاً لا يوجد بديل أفضل من آنودات التيتانيوم المغطاة بالبلاتين (Platinized – titanium) للاستخدام عند الكثافات العالية للتيار الكهربى فى البيئة البحرية. فى معظم الحالات الأخرى يكون الاختيار متاح. قد توجد عوامل مؤثرة مثل توفر المادة ، الوزن ، الحجم ، التكلفة ، درجة المخاطرة فى الاستخدام ، عمر الخدمة المطلوب وقبل كل شىء الخبرة السابقة. تم وضع خطوط إرشادية فى ظروف متعددة

طبقاً للجدول فى آخر الفصل. آنودات التيار التأثيرى يمكن تقسيمها باختصار إلى ثلاث مجموعات كالآتى:

نوع الأنود	من الأمثلة التى تشمل	معدل الاستهلاك التقريبى		التكلفة بالجنيه الاسترلينى للطن (1984)
		معدل أمبير ساعة	معدل أمبير عام	
نشط ويتآكل أو شبه متآكل (مستهلك)	الحديد الألومنيوم	جرامات	9–10 كجرام (20 – 22 رطل)	منخفض مئات أو أقل
مناعة جزئية أو شبه مستهلك	رصاص حديد سيليكونى ماجنيتين Magnetite جرافيت	جرامات مليجرامات	1.4 كجرام 0.5 كجرام	بضعة مئات
مناعة كلية أو لا يستنفذ (لا يتآكل)	بلاتين	ميكرو جرامات	6 ملجرام	1000 جنيها للكيلو

فى حالة مقارنة الفقد فى الوزن للأمبير ساعة × الثمن فإنه سوف لا توجد أى من هذه المواد يحقق اختيار اقتصادى عن الآخر. الاختيار يتوقف بدرجة كبيرة على معدل التآكل لمجال لملاصق معين ، وتجميع الظروف يمكن أن يوضح خواص وتحمل آنود معين.

حيث أن آنودات الرصاص تصبح غير موصلة فى المياه العزبة، الآنودات المغطاة بالبلاتين قد تعانى من زيادة معدل الإذابة فى حالة البيئة المالحة المحتوية على ملوثات عضوية، فإن الموقف يصبح شديد التعقيد مع الحاجة لوجود خبرة كبيرة مع العمل على المراجعة المستمرة. ولكن تتساوى الأهمية فى حالة توفر المادة بالنسبة لكثافة التيار المستمر للاستخدام وتوفر مصدر التيار.

المبادئ العامة:

إذا كانت الحماية الكاثودية للصلب باستخدام الآنودات الضحية من المغنسيوم أو الألومنيوم أو الزنك حيث منها تنتقل الشحنة الموجبة فى الحال إلى الصلب ، فإنه يمكن توضيح التفاعل الآنودى الأول بالآتى :



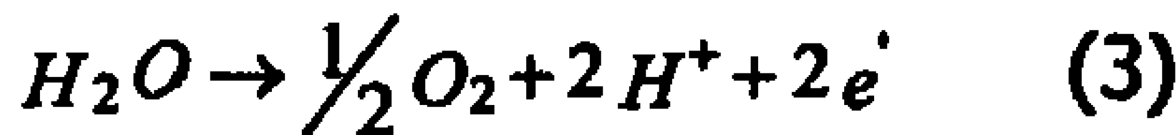
$$M \rightarrow M^{2+} + ze \qquad (1)$$

إذا كانت المياه فى المجال المتعادل للرقم الهيدروجينى، فإن كاتآيون المعدن سوف يكون غير مستقر حيث يتحلل (Hydrolysed) مع تكون إيدروكسيد المعدن (أو الأكسيد المائى) والبروتونات كالآتى:



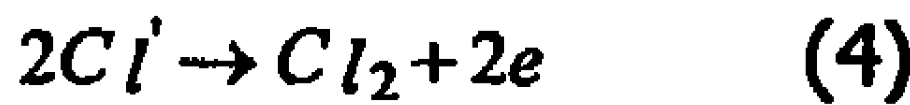
$$M^{2+}+2H_2O \rightarrow M(OH)_2+2H^{\cdot} \quad (2)$$

مع نظام التيار التأثيرى ، فإن انتقال الشحنة السالبة من الآنود إلى الكاثود ليس فورياً ويتم باستخدام الطاقة الكهربية من مصدر خارجى للتيار. نظرياً، أى موصل كهربى معدنى أو غير معدنى يمكن أن يستخدم كآنود لهذا الغرض حيث يتراوح ما بين المعادن النشطة مثل الحديد ، الزنك ، والألومنيوم إلى المعدن الخامل مثل البلاتين. فى المياه الخالية من التركيزات المرتفعة نسبياً من آيونات الكلور فإن التفاعل الآنودى السائد عند القطب الخامل نسبياً سيكون تصاعد الأكسجين وتكوين البروتونات



$$H_2O \rightarrow \tfrac{1}{2}O_2+2H^{+}+2e^{\cdot} \quad (3)$$

فى الواقع فإن البروتون سوف يتميأ (أى +H3O). وسوف نرى أن هذا مهم فيما بعد. وكذلك فى حالة وجود تركيزات صغيرة من أيون الكلور (أقل من 200 جزء فى المليون) فإن التفاعل الآنودى الإضافى سيكون أكسدة أيون الكلور إلى غاز الكلور.



$$2Cl^{\cdot} \rightarrow Cl_2+2e \quad (4)$$

مقارنة بحامض الهيدروكلوريك (HCl) فإن حامض الهيبوكلورس سيتحلل قليلاً فقط أيونات $(Cl)^{\cdot}$, (+H) من الواضح أن المعادلات من (2) إلى (6) سوف تعمل على خفض الرقم الهيدروجينى (pH) للمحلول القريب من الآنود (الأنوليت Andyte) ولكن فى معظم الظروف البيئية فإن هذا سيلغى بسبب الظروف الغير مستقرة والخلط مع كتلة الماء.

الاعتبارات الديناميكية الحرارية والحركية

من المهم اعتبار الديناميكا الحرارية والحركية لتصاعد الأكسجين والكلور (المعادلة (3)، (4) حيث أن ذلك مهم بالنسبة لاختيار الآنود والمعدل الذى يمكن أن يعمل به. العوامل الهامة سوف تكون الرقم الهيدروجينى للمحلول (pH)، تركيز أيون الكلور (Cl′)،

وجهد القطب عند الآنود وانتقال المادة للتفاعلات (Reactants) والمنتجات. رغم أن الرقم الهيدروجينى لمعظم المياه الطبيعية سيكون فى المجال المتعادل فإن ذلك لا ينطبق على الرقم الهيدروجينى عند سطح القطب (Electrode)، وحيث الرقم الهيدروجينى عند الكاثود سوف يميل إلى الزيادة فإن العكس سيكون عند الآنود وخاصة عند حدوث تصاعد للأكسجين (المعادلة "3").

من ناحية الديناميكية الحرارية فإن تصاعد الأكسجين فى محلول عند رقم هيدروجينى 7 سوف يبدأ عند جهد يقدر بالآتى :

$$E = 1.23 - (7 \times 0.059)$$

أى بالنسبة لقطب الهيدروجين $Eo2 / H2o = o.82\ V(SHE)$

وتصاعد الكلور عند $ECl2 / Cl' = 1.34\ V$

من المفترض أن نشاط أيونات الكلور (Cl) وغاز الكلور (Cl2) = I وهذا يعنى أنه عند استخدام قطب خامل مثل البلاتين كآنود فى مياه متعادلة تحتوى على وحدة نشاط من أيونات الكلور (Cl)، فإن تصاعد الأكسجين (O2) عند معدل منخفض جداً سوف يبدأ عند الجهد المعكوس وهو 0.82 فولت، ومع زيادة المعدل عندما يكون الجهد أكثر إيجابية (More Positive). تصاعد الكلور سوف لا يتم حتى 1.34 فولت، بعد هذا الجهد كلا من الكلور والأكسجين سوف يتصاعد فى نفس الوقت، معدل الأكسجين سيكون أكبر من الكلور. ولكن هذه الاعتبارات لا تشمل العوامل الحركية مثل طاقة التنشيط (Activation Energy) لانتقال الإليكترون من المحلول إلى القطب (الجهد الزائد للتنشيط) وانتقال كتلة عناصر التفاعل (H_2O , Cl) إلى القطب ونواتج التفاعل (H^+, Cl_2 , HOCl) بعيداً عنها.

بسبب الاعتبارات الحركية فإن تصاعد الكلور عند قطب البلاتين يحدث فقط بالجهد الزائد حتى عند التيار المستمر العالى، بينما تصاعد الأكسجين بمعدل كافى يتطلب جهد عالى ضخم (Large Over potential) حوالى 0.5 إلى 0.7 فولت أو أكثر. وكذا على عكس التوقع الديناميكى الحرارى، حتى فى المياه الحمضاء قليلاً (متوسطه الملوحة - Brakish) ، فإن تصاعد الكلور سوف يحدث على حساب تصاعد الأكسجين ويكون هو التفاعل السائد، شريطة أن معدل هجرة أيونات الكلور (Cl) إلى سطح القطب

يكون سريعاً بما يكفى لمنع الجهد الزائد بالتركيز الضخم. فى مياه البحر المفتوحة، التركيز العالى لأيونات الكلوريد وصغر تنشيط الجهد الزائد لأيون الكلور إلى غاز الكلور $Cl \rightarrow Cl_2$ يعنى أن التيار المستمر 1000 أمبير/ المتر المربع أو أكثر يمكن أن يستخدم على سطح البلاتين عند جهود فقط 2 – 2.5 فولت (بالنسبة لقطب الهيدروجين القياسى – SHE). على الجانب الآخر فى حالة إعاقة انتقال أيون الكلوريد إلى سطح القطب فإن تركيزه يمكن ينخفض إلى حد أن تصاعد الأكسجين يكون هو التفاعل السائد، وهذا سوف ينتج عنه انخفاض أكثر فى الرقم الهيدروجينى عنه فى حالة أن يكون تصاعد غاز الكلور هو السائد. هذا التكون للحموضة، والذى يحدث فيما بعد سوف يقلل بوضوح معدل التآكل للبلاتين.

الإتزان العكسى على البلاتين للكلور $Cl_2 \leftrightarrows Cl + 2e'$ وعلى الأكاسيد مثل (PbO_2 , IrO_2 , RuO_2) يعتبر بوضوح فائدة ويعنى أن هذه الآنودات يمكن أن تعمل عند تيار مستمر عالى. على الجانب الآخر، مع نظام القطب / المجال الملاصق، حيث تصاعد الأكسجين هو التفاعل الآنودى السائد، فإن الجهد الزائد وانخفاض (IR) سوف يكون كبيراً، وهذا يعنى أن العمل عند تيار مستمر عالى يمكن فقط مع استنزاف طاقة كهربية كبيرة. فى هذه الظروف يكون العمل عادة عند تيار مستمر منخفض واستخدام مساحات كبيرة للآنود للحصول على الخرج المطلوب.

خواص الآنودات :

يوجد عدد كبير من المواد المعدنية أو الغير معدنية الموصلة أو الشبه موصلة للكهرباء ، ولكن من بين هذه المواد فإن قليلاً منها هو المناسب للاستخدام كآنودات فى نظم التيار التأثيرى. من هذه المواد الكثيرة التى تتآكل وغير مكلفة الحديد الخردة والصلب وكذلك المواد مرتفعة التكلفة وخاملة ولا تتآكل مثل البلاتين، لذلك فإنه يتضح أن الاختيار للمادة لاستخدام معين يتوقف على عدة اعتبارات، وخاصة الظروف البيئية والتكلفة ومادة الآنود يجب أن يكون لها الخواص التالية:

- انخفاض معدل التآكل بصرف النظر عن طبيعة البيئة أو نواتج التفاعل المتكونة بأكسدة الآنود.

- انخفاض الاستقطاب للأنود، بصرف النظر عن تفاعل الآنود.
- التوصيل الكهربى الجيد، وانخفاض المقاومة للإلكتروليت/ الأنود.
- الاعتماد عليه بدرجة عالية.
- قوة ميكانيكية كافية ومقاومة التلف أثناء الإنشاء والصيانة للمنشأ، والاجهادات التى يتعرض لها أثناء الخدمة.
- مقاومة الاحتكاك البرى.
- انخفاض التكلفة مقارنة بالمكون العام للحماية .
- سريع التصنيع إلى أشكال مختلفة.

البلاتين المعدن الذى له مناعة عالية ضد التآكل، وتقريباً له صفات الآنود المثالى ولكن تكلفته مرتفعة. رغم أن ذلك يمكن خفضه كثيراً باستخدام البلاتين كطبقة تغطية رقيقة على التيتانيوم أو النوبيوم (Ti, Nb) ، فإنه يكون اقتصادى فقط فى حالة استخدام عند تيار مستمر مرتفع، كما فى حالة (كمثال) مياه البحر المفتوح حيث انتقال أيونات الكلوريد إلى ونواتج التفاعل بعيداً عن السطح يحدث بسرعة. على الجانب الآخر عندما تكون الظروف البيئية متوافقة مع المعدلات العالية على وحدة المساحة لسطح الأنود (كثافة التيار) ، فإنه يكون من الناحية الاقتصادية بالنسبة لمادة الآنود والطاقة الكهربية استخدام مواد رخيصة ومنخفضة القيمة الشرائية ذات مساحة سطحية ضخمة تعمل عند كثافة تيار منخفضة. هذا الموقف يكون سائداً فى كثير من أنواع التربة حيث التفاعل الأولى الآنودى يكون الأكسدة للماء إلى الأكسجين، وفى حالة انخفاض المحتوى من الماء فإن انخفاض معدل انتقالها إلى سطح الآنود سيعمل على الحد من معدل هذا التفاعل.

توجد طرق كثيرة لتصنيف مادة الآنود.

المواد المستنفذة

أ- المعادن الحديدية :

خردة معدن الحديد ، الألومونيوم وسبائكهم والزنك ثم استخدامهم فى وقت ما كأنودات فى نظم التيار التأثيرى ولكن حالياً تم استبدالهم بأنودات من مواد يعتمد عليها، تفاعل الآنود السائد ينطبق على المعادلة رقم (1). ذلك رغم أنه فى ظروف معينة ومع مواد معينة سوف يكون هناك مناعة جزئية وبالتالى تصاعد غاز.

فى حقول الغاز الطبيعى وزيت البترول فى عام 1930 كان الحديد الخردة ومواسير الصلب هى المادة كثيرة الوفرة والمنخفضة السعر والتى يمكن تصنيعها بسرعة فى شكل آنودات ضخمة وذلك بلحام الأطوال مع بعضها وربط كابل توصيل. ولكن بسبب الطول الكبير للطبقة الأرضية فلقد كان هناك فرق واضح فى الجهد ما بين مساحة نقطة الاتصال والنهايات بما نتج عنه تآكل تفضيلى على الأول والذى يؤدى إلى انفصال الكابل، وتم التغلب على ذلك بتوفر عدة نقط للاتصال وتغطية المعدن المجاور بمادة عازلة. مشكلة أخرى. هى أنه فى البيئة تحت سطح الأرض فإن نواتج التآكل للحديد تعمل على رفع مقاومة الاستقطاب (Palarization Resistance) ولكنه وجد أن ذلك يمكن خفضه كثيراً وذلك بإحاطة الآنود بمادة تحشيه كربونية (Carbonacious back fill) موزعة ومدموكه بانتظام حول الآنود لتأكيد تجانس الإذابة عند كل مساحات الحديد. هذه المشكلة طبيعى ألا تحدث فى المياه الطبيعية ذات ملوحة عالية التى فيها نواتج التآكل لا تبقى على سطح المعدن. معدل الاستهلاك الفارادى للحديد لتكوين (Fe+2) المعادلة (6) هو 9.13 كيلو جرام/ أمبير × العام، والقيمة المتحصل عليها فى مجالات بيئية مختلفة أظهرت أنها أكثر من هذه القيمة فى معظم المياه وخاصة مياه البحر، أظهرت أن الكفاءة أقل من 100%. ولكن فى التربة فإن القيم تكون منخفضة مثل 8.4 كيلو جرام/ أمبير فى العام والتى تم الحصول عليها باستخدام الصلب الخردة بسبب تكون طبقة تغطية غنية بالكربون والتى وفرت الاستقطاب الجزئى. أثناء التآكل يحدث تحول جرافيتى للحديد الزهر والسطح الغنى بالكربون يكون موصل للمناعة (passivation) وتصاعد الغاز بحيث أن معدل الاستهلاك يمكن أن يقل كثيراً عن النظرى. بالإضافة إلى المواسير الخردة فقد استخدمت معادن حديدية أخرى مثل قضبان السكك الحديدية، الخوازيق، المراكب، الزوارق الكبيرة ... الخ. وهى مازال استخدامها محدود فقط فى حماية الدعائم من الصفائح المعدنية (Sheet piles) وتسقيطها.. الخ وذلك فى المياه الطبيعية باستخدام الآنود البعيد عن الشاطئ . لقد وصف (Peabody) استخدام الآنود الأرضى فى البئر العميق (Deep well ground bed) المستنفذ باستخدام أطوال من ماسورة الصلب ملحومة معاً للاختراق إلى العمق المطلوب حيث الجزء العلوى مغطى بحيث أن خرج التيار يكون محدوداً بالنسبة

للجزء السفلى. إعادة النشاط للآنود يتم تنظيف فتحة الماسورة لإزالة المواد التى قد تكون دخلت خلال الثقوب ثم توصيل طول آخر من الماسورة بأقصى قطر أقل قليلاً من القطر الداخلى للماسورة القديمة. التوصيل للماسورة يتم عند الطبقة الأرضية، ولتأكيد الاستمرار الكهربى لكل مقطع الأنود فإنه يتم لحام طول من قضيب من النيكل باستمرار على طول الماسورة من القمة إلى القاع.

المعادن الغير حديدية :

طريقة أخرى فى استخدام الألومنيوم والتى كانت مثل الآنود المتدلى البعيد الذى يستبدل باستمرار لحماية بدن السفن. حيث كان يتم وضع لفافة ذات قطر 6 مليمتر من الألومنيوم محملة علىمؤخرة السفينة (أو السارى) ثم يتم فكها بحيث يظل 10 متر مغموراً فى البحر وهذا كان يتم استقطابه عند 350 أمبير/المتر المربع وعند 9 فولت. لقد كانت هناك مصاعب متعددة مع هذا النظام وهو قد توقف استخدامه.

الموصلات الضخمة الغير معدنية :

الموصلات من خام الماجنيتيت :

الماجنيتيت هو خام طبيعى يوجد فى مناطق كثيرة من العالم. ورمزه الكيماوى هو (Fe_3O_4) ويسمى كذلك أكسيد الحديد المغناطيسى. التوصيل الكهربى له هو (1,25 Sm-1) المقاومة (0.8 Ωm) بسبب انتقال الاليكترون من الكاتأيونات المجاورة ذات شحنات مختلفة ($Fe2+ \longrightarrow -e\ fe^{3+}$). منخفض التوصيل الكهربى مع زيادة درجة الحرارة.

أنودات أكسيد الحديد المغناطيسى غير عادية فى أنها الآنودات الوحيدة التى تتكون فقط من أكسيد المعدن وهى تصنع فى السويد. نقطة انصهار أكسيد الحديد المغناطيسى (1540مْ) ولكن عملية السبك (Casting) تشكل صعوبة فى تنفيذها وهى تتم بإضافة كميات صغيرة من العناصر السبائكية (Alloying Elements) واستخدام تقنيات خاصة للسبك. بسبب توصيلها المنخفض نسبياً فإن الآنود يتم سبكه كأسطوانة مفرغة بقطر خارجى 60 مليمتر وسمك الجدار 10 مليمتر ومقفولة من نهاية واحدة. وبهدف تأكيد تجانس كثافة التيار على السطح فإن كل السطح الداخلى يتم تغطيته بطبقة من النحاس،

وكابل الآنود الملحوم مع مسطح النحاس بسبيكة لحام (Soldered) يلتصق بلوح النحـــاس عند 100 مليمتر أسفل قمة الآنود. الجزء المركز الداخلى (Central portion) يملأ بمادة البولى استيرين (Polystyrene) وباقى الفراغ المحيط ما بين البولى سيترين وداخل الآنود يملأ براتنج الإيبوكسى. ولقد تم تعليل أن الغرض من البولى استيرين هو احتواء التغيرات فى الحجم فى الراتينج نتيجة التغيرات فى درجة الحرارة للبيئة، وبذا يتم تجنب اجهـــادات الشد العالية للماجنيتيت. هذا التصميم قد يكون بسبب مقاومـــة التشقق عند تعرض الآنود لدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة. وهذه الآنودات تســتخدم الآن لحمايـــة المنشـــآت المدفونة تحت الأرض والمغمورة فى الماء والذى يتراوح ما بين ماء الشرب العذب إلى الماء المالح.

آنودات الماجنيتيت تعمل عند كثافة تيار منخفضة والاختبارات فى ماء البحر عند 30 إلى 190 أمبير/المتر المربع أظهرت أن الفقد فى الوزن زاد من 1.4 إلى 4 جرام/الأمبير × العام مع زيادة كثافة التيار فى هذا المجال؛ يوصى لفترة استخدام 20 عام فـــإن كثافـــة التيار يجب إلا تزيد عن 115 أمبير/المتر المربع. سلبيات هذه الآنودات هـــى القصـــافة (Brittleness) مقارنة بسبائك الحديد عالى السيليكون بما يجعلهـــا قابلـــة للكســـر عنـــد الاصطدام، وكذلك الاستعداد للتشقق عند التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة. وهى لها أكسجين فوق فـــولتى مـــنخفض ولكـــن كلوريـــد فـــوق فـــولتى عـــالى جـــداً (Over voltage).

المواد الكربونية :

آنودات الكربون استخدم فى تحلل المياه منذ القرن التاسع عشر، وفى عام 1932 تـــم عمل عدة محاولات على الآنودات للحماية الكاثودية حيث استخدم فيها الصلب، الكربـــون الصلب وقلب من الصلب محاط بكربون مدكوك، الكوك والكولتار ثم مقارنتهم فى البيئـــة تحت الأرض. بعد ستة أشهر وجد أن الصلب المدفون مباشرة فى التربة أو فى التربـــة/ الفحم (Coal) قد تم تآكله بشكل كبير، بينما الصلب الموضوع فى الكربون أو الكوك كان التلف به قليل. ولقد كان هذا سبباً لمبدأ هام نحو استخدام طبقة أرضية مكونة مـــن آنـــود موصل مستنفذ أو غير مستنفذ، مدفوناً فى كتلة من الكربون أو الكوك. هـــذه الآنـــودات

كانت أول آنودات دائمة لاستخدام ذات عمر مفيد أضعاف المرات ذلك للحديد أو الصلب الخردة.

الجرافيت الذى تفوق الآن على الكربون الأكثر مسامية والأقل فى الاعتماد عليه، وجد أنه خامل بطريقة مدهشة عندما يكون تفاعل الآنود مع تصاعد الكلور، كما يحدث فى حالة المياه المحتوية على الكلوريد. ولكن فى الظروف البيئية حيث تصاعد الأكسجين هو التفاعل السائد، فإن الجرافيت يتأكسد ببطئ إلى ثانى أكسيد الكربون، رغم أنه فى هذا المجال يكون أكثر مقاومة للتآكل عن الكربون.

يجب ملاحظة أن الكربون يتكون من بلورات غير منتظمة ولكن عند تسخين الكربون (عادة فى شكل فحم نباتى مسحوق (Anthracite) أو كوك البترول ... الخ) مع الرمل عند درجة حرارة مرتفعة جداً فى فرن كهربى فإنه يتحول إلى الشكل البلورى ، الجرافيت، أى إلى جزئ كبير له بعدين متكوناً من صفائح من سداسيات منتظمة مفصوله بمسافة 0.34 نانوميتر (0.34 nM). فى هذه العملية يحدث تغير فى الخواص الطبيعية حيث تزداد الكثافة من 1440– 1600 كجرام/ م^{3} الكربون إلى 1600 – 1700 الجرام/ م3 للجرافيت الكهربى (Electrographite) وتنخفض المقاومة من 1.3×10^{-4} – 3×10^{-4} Ω متر إلى 3×10^{-5} – 8×10^{-6} Ωمتر. رغم أن الجرافيت كثافته أعلا من الكربون إلا أنه عالى المسامية حيث له مساحة سطحية تساوى 0.5 متر مربع/ الجرام، والتى تزداد إلى أربعة أضعاف وذلك بتفتيح الثقوب العمياء بالأكسدة. الغاز الناتج آنودياً أسفل السطح الخارجى وعند أسطح الثقوب الداخلية سينتج عنه تلف ميكانيكى وكيماوى وليونه للسطح. لهذا السبب فإن الجرافيت يتم نقعه مع مادة عازلة مثل المواد الشمعية، الزيوت (مثل زيت بذر الكتان) وكذلك الراتيخات الطبيعية والمخلقة والتى تقلل من اختراق الإليكتروليت وكذلك تزيد من القوة الميكانيكية. حتى مع هذه المعالجة، فإن عمليات القطب (Electrode) تحدث عند عمق 0.5 متر أسفل سطح الآنود، وبسبب المساحة السطحية الضخمة فإن كثافة التيار الحقيقية هى فقط حوالى 25% من تلك المبنية على المساحة الهندسية. عموماً يزداد تلف الجرافيت مع انخفاض التركيز لأيون الكلوريد (Cl) وذلك بسبب التفاعل السائد لتصاعد الأكسجين وبالتالى أكسدة كلاً من مادة الربط والجرافيت

إلى ثانى أكسيد الكربون. ولقد ثبت أن زيادة التلف تزداد مع زيادة مقاومة الماء إلى 30 Ω متر، وأعلا من هذه القيمة فإن المعدل يظل ثابت غالباً بسبب أن تساعد الأكسجين أصبح التفاعل السائد. النقع يقلل من التف فى هذه المحاليل عالية المقاومة بحوالى 20% وهذا التحسن يزداد مع زيادة المقاومة وخفض كثافة التيار. يتضح مما سبق أن الجرافيت أداؤه يكون ممتاز فى مياه البحر، رغم أنه فى حالة المياه المتدفقة بسرعات عالية، فإن معدل تلفه يزداد بسبب إزالة حبيبات السطح بفعل الاحتكاك، كذلك فإن معدل البلى (Wear) يزداد مع انخفاض الرقم الهيدروجينى وزيادة تركيز أيون الكبريتات.

لا يوصى باستخدام الجرافيت فى النظم المقفلة نظراً لأن ترسيب الحبيبات المنفصلة يمكن أن يؤدى إلى خلايا جلفنية محليه، وكذلك لا يستخدم فى مياه درجة حرارتها أعلا من 550م حيث يزداد مع الاستهلاك سريعاً. الجدول (13/1) يوضح معدلات الفقد وكثافة التيار فى مختلف المجالات. معدل الاستهلاك النظرى لأكسدة الجرافيت إلى ثانى أكسيد الكربون هو 0.98 كيلو جرام/الأمبير × العام ، ولكن عملياً لا يتم هذا حيث تتراوح المعدلات ما بين 0.05 إلى 0.2 كيلو جرام/الأمبير × العام.

جدول (13/1) كفاءة الجرافيت

المجال	معدل الفقد كجرام/الأمبير × العام	كثافة التيار أمبير/المتر المربع
مادة الملىء	0.9	0.8 >
ماء ساخن	0.9	–
مياه البحر	0.045	10,7 4.3
مياه البحر	قليل	10.8 >
ماء عنب	0.45	3.5
ماء عنب	0.45	2.7
طمى	1.36	32.4

يمكن تلخيص سلبيات الجرافيت كالآتى :

- كثافة تيار للتشغيل منخفضة لتجنب الاستهلاك العالى للأنود.

- تلف كابل الآنود أو رقبة الآنود القريبة من وصلة نهاية الكابل.
- مخاطر التآكل الموضعى بترسب مواد الآنود المفككة على سطح الصلب (حيث أن الجرافيت يكون موجب أكبر كثيراً من جهد الصلب).
- القصافة أو الهشاشة واحتمال التحطم أثناء الإنشاء أو فى الظروف البيئية حيث يمكن التعرض إلى صدمة ميكانيكية كما فى حالة البيئة البحرية بفعل أمواج المياه ، والمخلفات العالقة، سلاسل الربط والاصطدام مع القوارب الصغيرة.
- خاصية الليونة التى تحد من استخدام الجرافيت كآنودات حيث يمكن أن تتعرض للتآكل الحبيبى ، بالبرى ، أو بالاصطدام عند التداول والنقل، وفى حالة الآنودات البعيدة فى مجارى المياه عالية التدفق.

مواد الردم الكربونية :

مواد الردم الكربونية تشمل مختلف أنواع الكوك المنتج من الفحم (Coal)، القار والبتيومين (كوك البترول) (Pick of cokes – tars) وحبيبات الجرافيت (جرافيت طبيعى أو كهربى (Electrographite) من بين هذه فإن الأكثر استخداماً هو رماد الكوك (Coke Breeze) ورماد كوك البترول (Petroleom coke breeze). الجدول (13/2) ، (13/3) يوضح بعض خواص هذه المواد. كل مواد الردم هذه تحتوى على حتى 95% كربون ولها مقاومة كهربية أقل كثيراً من مقاومة التربة. الغرض من هذه المواد هو لخفض المقاومة للآنود / التربة وكذلك توفير مخرج لغازات الآنود والتى فى حالة احتجازها عند ملاصقة الآنود للتربة سينتج عنه زيادة كبيرة فى المقاومة، زيادة فى طاقة التيار (Current capacity) بالزيادة الكبيرة فى مساحة الآنود لزيادة عمر الاستخدام للآنود. الخواص المحددة لإجمالى التيار المنتج بالآنود (ربما يكون شرحه أفضل فى الموصلات) ومواد الردم غر معروفة وهى تتوقف على نظام الآنود/ الردم (Anode Back fill). الخواص الأكثر أهمية لمواد الردم الكربونية يمكن تلخيصها كالآتى:

- المقاومة المنخفضة لالتصاق الآنود/ التربة.
- التوصيل الكهربى العالى.
- حجم حبيبات مناسب لتسهيل خروج الغاز والتوصيل الجيد.

- المقاومة الجيدة لنواتج الآنود.
- انخفاض المقاومة للحبيبات الملاصقة للسطح.

مادة الردم	الكثافة كجرام/م3		
تراب الكوك المحمص	650 800		
حبيبات كوك البترول المحمص	700 1100		
حبيبات الجرافيت الطبيعى	100 1200		
جرافيت كهربى مطحون	1100 1300		
المقاومة Ω متر	جاف	مدموك	رطب
كوك الفحم	0.55	0.45	0.15
حبيبات الجرافيت	1.5	1.2	2.0

جدول (13/2) الكثافات والمقاومات لمواد الردم

المرور خلال المنخل 15 مليمتر	100%
المرور خلال المنخل 10 مليمتر	85%
المرور خلال المنخل 5 مليمتر	15% كحد أقصى
مواد متطايرة	3.25 كحد أدنى
كربون ثابت	78% كحد أدنى
رمـــــاد	19% كحد أقصى
كبـــريت	1.2 % كحد أقصى
المقاومـــة	5.5×10^{-1} Ω متر كحد أقصى

جدول (13/2) مواصفات كوك الفحم

من المعادلة (3) حيث الأكسجين المتصاعد ينتج عنه تكون بروتـــون مـــائى H_3O^+ وبالتالى انخفاض فى الرقم الهيدروجينى ، وكلا هذين يمكن أن يكون له تأثيرات خطيرة. هجرة H_3O^+ بعيداً عن الطبقة الأرضية تمثل فقد فى الماء وزيادة فـــى المقاومـــة غيـــر مرغوبة، والذى يمكن منعه بتأكيد أن الطبقة الأرضية موضوعة أسفل خط المياه.طريقـــة

أخرى هى بإضافة مواد قلابة وهى عادة الجير المطفى لمعادلة الحامض وبالتالى انخفاض تركيز H_3O^+.

تصميم الطبقات الأرضية الضحلة الرأسية والأفقية والبئر العميق تم تناوله تفصيلاً فى بعض المراجع العلمية (أنظر المراجع).

4- المعادن والسبائك متوسطة المناعة :

(Partially passive metals and alloys)

هذه السبائك تحتوى على من 14 - 18% سيليكون وتسمى الحديد عالى السيليكون (High silicon iron) وهى تختلف عن السبائك 4 - 10% سيليكون المستخدمة فى مقاومة الأكسدة عند درجات الحرارة العالية.

سبائك الحديد عالى السيلكون لها مقاومة عالية للتآكل بالأحماض، ويرجع هذا إلى تكون طبقة حماية محتوية على نسبة عالية من SiO_2 المائى (Hydrated SiO_2) حيث خاصية الحماية الكاملة للطبقة لا تكتمل إلا فى حالة محتوى السبيكة من السيليكون. 14.5%. ولكن قبل تكون هذه الطبقة فإنه يتم تآكل للسبيكة، حيث أن معدل التآكل الأولى يكون مرتفعاً ولا يصل إلى حالة الثبات إلا بعد عدة ساعات. نظراً لأن (SiO_2) يذوب فى القلويات ويكون السيليكات، فإن السبائك تكون مقاومتها الكيماوية للمحاليل القلوية ضعيفة.

لقد استخدمت هذه السبائك كآنودات فى الخلايا الاليكتروليتيه منذ عام 1912، ولكن منذ عام 1952 أثبت الأبحاث استخدام هذه الآنودات فى نظم الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى (Impressed current). الأبحاث العملية كانت مشجعة وأظهرت أن معدل التآكل فى المياه العذبة وفى المياه المالحة عند كثافة تيار 10 أمبير/ المتر المربع كان صغيراً جداً. كما تم التوصل إلى نتائج واعدة عند استخدامها للطبقات الأرضية مع مادة الردم الكربونية. لقد أعدت الرابطة الدولية لمهندسى التآكل (NACE) عدة تقارير عن كفاءتها خلال عدة مجالات بيئية فى الفترة من 1954 - 1960. المنافس الرئيسى كان الجرافيت حيث تم اكتشافه بواسطة اختبارات (NACE) أنه رغم تفوق الحديد عالى السيليكون على الجرافيت فى المياه ذات المقاومة المالحة ذات المقاومة أقل من 0.5 Ω متر، إلا أن (NACE) أثبتت أن إضافات صغيرة من المولبدنيوم (1-3%) كان له تأثير فى المحافظة على طبقة الحماية من الأكسيد وبذا انخفض التآكل الثقبى فى المياه المحتوية على أكثر من

200 جزء فى المليون من أيون الكلوريد. كمثال فإنه فى حالة مياه البحر وعند كثافة تيار 10 أمبير/المتر المربع فإن إضافة المولبدينوم عملت على خفض المعدل من 0.2 كجرام/ الأمبير × العام وكذلك ظهر تحسن عند كثافة التيار الأعلى ودرجة الحرارة الأعلى. فـــى عام 1959 تم استخدام حديد الكروم عالى السيليكون (HSCI – High Silicon chromium Iron) حيث أثبت أنه أكثر كفاءة وأقل تكلفة عن سبيكة المولبدنيوم لذلك فلقد حل محلهــا فى جميع الاستخدامات فى مياه البحر وفى التربة. مكونات تلك الســبائك موضـــح فـــى الجدول (13/4).

جدول (13/4) مكونات سبائك الحديد عالية السيليكون (1)،
وسبائك حديد الكروم عالية السيليكون (2)

	% (1)	السبيكة المحتوية على المولبدنيوم %	% (2)
	14.5	14.5	14.5
	0.9	0.9	0.9
	0.7	0.7	0.7
	–	3.0	–
	–	–	4.5
	الباقى	الباقى	الباقى

اختبارات المقارنة ما بين (HSI) , (HSCI) فى ماء البحر عنـــد 593م وعنـــد 10.8 أمبير/المتر المربع أعطت معدلات لـــ 8.4 و 0.43 كجرام/الأمبير × العام بالتتالى، ورغم أن قيمة (HSI) تقترب من تلك للصلب المطاوع إلا أن التآكل الثقبى العميق الذى تكـــون فى (HSI) كان أكثر خطورة عن التآكل المنتظم على الصلب. ولكن فى حالة المياه العذبة ذات مقاومة أكبر من 10 Ω متر فإن معدل التآكل لـــ (SHI) يكون أقل كثيراً نسبة إلـــى الصلب، وفى مجال رقم هيدروجينى 3–9 عند 10 أمبير/المتر المربع فإنه لا يزيـــد عـــن 0.12 كجرام/ الأمبير × العام، ومع أدنى معدل عند رقم هيدروجينى 0.7 أقصاه عند رقم هيدروجينى 0.9 فى المياه العزبة عند درجات حرارة أكبر من 55م تكون سبيكة (SHCI) مفضلة.

السبائك الغنية بالسيليكون لها استخدام كثير. فى الطبقات الأرضية (Goround beds) كما يمكن أن تستخدم بمفردها أو مع الردم مع المواد الكربونية، وفى هذه الحالة الثانية فإن الخواص الكهربية تشبه إلى حد كبير لهذه التى تتكون من آنود الجرافيت / مادة الردم الكربونية، ذلك لأن المقاومة العالية للالتصاق ما بين سبائك حديد السيليكون ومادة الردم الكربونية يتم تعويضها بالمقاومة المنخفضة لسبائك حديد السيليكون (72×10^{-8} Ωمتر) مقارنة بتلك للجرافيت (14×10^{-6} Ωمتر). كذلك يمكن استخدام بدون مادة ردم، رغم أن ذلك سوف ينتج عنه إرتفاع معدل الاستهلاك ومقاومة أكبر للتربة عن حالة استخدام مادة الردم– مثال المعدل يكون 25 كجرام/ الأمبير × العام عند استخدامه منفرداً يكون المعدل 0.5 كجرام/ الأمبير × العام عند استخدام مادة الردم. سبيكة (HSCI) مفضلة عندما تحتوى التربة على تركيز عالى من آيونات الكلوريد (Cl).

البحث الحديث الذى أجراه (Jacobs) وصف الاختبارات على آنودات الجرافيت، والماجنيتيت (HSCI) فى الردم من تراب الكوك كطبقات أرضية فى تربة ذات مقاومة منخفضة (Ω9 متر) المحتوية على تركيز عالى من أيونات الكبريتات والكلوريد. حيث فشل الجرافيت خلال 1.5 – 3 عام عند كثافة تيار حوالى 5 أمبير/المتر المربع، بينما (HSCI) كان له عمر 4 – 8 سنوات عند 11 أمبير/المتر المربع. ولكن دراسات أخرى أجرتها شركة شل فى بيئة مماثلة أظهرت أن (HSCI) كان غير مناسب حيث كان عمره عامين فقط. وجد أن الماجنيتيت أعطى كفاءة جيدة عند 43 أمبير/ المتر المربع، كما بدا أنه أكتسب مناعة (Immune) للتآكل بأيونات الكلوريد ويتآكل قليلاً بأيونات الكبريتات (SO_4^{2-}).

آنودات الرصاص/ أكسيد الرصاص:

الأداء الآنودى للرصاص يتغير طبقاً لنوع محلول الإليكتروليت وجهد القطب لمحلول التلامس مع الرصاص (Pb solution interface). بالنسبة للرصاص ليعمل كآنود خامل، فإن الظروف يجب أن توفر تكون طبقة من PbO_2 الموصل للكهرباء على سطح الرصاص. فى المحاليل حيث الرصاص لا يكون أملاح قليله الأذابة مثل محاليل النترات

والأسيقات فإنه سوف آنودياً إلى كاتأيون الرصاص (Plumbous cations) طبقاً لحالة الاتزان.



$$Pb^{2+} + 2e \rightarrow pb \qquad E^0 = -0.126V \qquad (6)$$

فى مثل هذا الجهد الاتزان القياسي حيث Eo لـ 0.126v– يوضح أن تفاعل الأكسدة هذا يحدث عند جهود منخفضة.

على الجانب الآخر محاليل الكبريتات بما فيها حامض الكبريتيك، فإن التفاعل الأولى سيكون تكون كبريتات الرصاص PbSO4 القليلة الذوبان. لذلك عند الاستقطاب الآنودى للرصاص عند تيار ثابت في محلول الكبريتات فإنه تتكون طبقة رقيقة من PbSO4 الغير موصلة على السطح، وهذه سوف تسبب زيادة فى الجهد لطبقة التلامس (Interface) ما بين الرصاص/ المحلول إلى الحد الذى فيه يصبح الشكل المستقر هو PbO2 وليس $PbSO_4$ ، حيث PbO_2 له قدرة توصيل عالية وبذلك يعمل نظام Pb/PbO_2 كآنود خامل.

الأداء الآنودى للرصاص فى محاليل الكلوريدات يتوقف على تركيز آيون الكلوريد وآن ايونات الأكسدة المسببة للمناعة مثل (SO^{-2}_4 , CO_3^{2-} , HCO_3^{1-}) الرقم الهيدروجينى وجهد الالتصاق ما بين الرصاص/ المحلول.

بالنظر إلى قدرة أيون الكلوريد فى تلف طبقة الحماية، فإنه يلاحظ أن طبقة PbO_2 الثانية يمكن أن تتكون فى محاليل الكلوريدات. عند التركيزات المنخفضة لأيون الكلوريد وعند كثافة تيار منخفضة فإن الرصاص (Pb) يتأكسد إلى أيونات الرصاص (Pb^{2+}) ، والتى فى هذه الظروف ستكون قادرة على الانتشار والهجرة بعيداً عن السطح حيث تصبح إذابة الرصاص غير معاقة. ولكن عند تركيزات عالية لأيون الكلوريد وكثافة تيار ثابتة ومرتفعة فإن معدل تكون أيونات Pb^{+2} عند سطح الرصاص ستكون مرتفعة بما فيه الكفاية لزيادة الإذابة ($PbCl_2$) وهذه تتبلور على سطح المعدن. نظراً لأن $PbCl_2$ غير موصل. تبلور $PbCl_2$ على سطح الرصاص سينتج عنه جهد عالى جداً، وفى محلول 2 عيارى من كلوريد الصوديوم (2MnaCl) يمكن أن يصل إلى قيمة مرتفعة حتى 50 – 70 فولت.

تكون طبقة مناعة ملتصقة من PbO2 على الرصاص عند استقطابه آنودياً فى محلول كلوريد مثل (0.5 MNaCl) أو فى المياه الطبيعية مثل مياه البحر يمكن تحقيقه بطريقتين

- سباكة الرصاص مع معدن آخر مثل الفضة.
- استخدام ميكرو اليكترود موصل وخامل على سطح الرصاص مثل البلاتين.

سبائك الرصاص : Lead Alloys

استخدمت سبائك الرصاص منذ بداية القرن العشرين كآنودات فى إنتاج كلور، الهيبوكلوريتس .. الخ بالتحليل الكهربى (Electroysis) للمياه المالحة ، فى خفض تركيز آيونات النحاس (Cu^{-2+}) فى محلول كبريتات النحاس/ حامض الكبريتيك المستخدم فى التنقية الكهربية للنحاس ، وفى الترسيب الكهربى للزنك والنحاس من محاليل الغسيل بحامض الكبريتيك. استخدمت سبائك الرصاص ، 6-8 عنصر (Sb) كآنودات خاملة فى الطلاء الكهربى بالكروم من حوض (CrO3 / H2SO4). وقد استخدمت سبائك الرصاص مع الفضة بنسب 100% لكل حيث أظهرت أنه عند 160 أمبير/م^2 وبمعدل 100 أمبير ساعة فإن معدل التآكل للرصاص النقى انخفض من 82.4 جرام/سم^2 إلى 1 جرام/سم^2 فقط بإضافة 5% فضه، وكذلك فإن المعدل انخفض كذلك مع زيادة المحتوى من الفضة.

قطب الرصاص/البلاتين مميزاته فى أنه يمكن أن يعمل خلال مجال كثافة تيار من 100 إلى 170 أمبير على المتر المربع بدون تآكل حاد شريطة أن يكون التفاعل السائد للقطب هو تصاعد الكلور. وهذا يمكن من استخدامه فى مياه البحر أو فى المياه الخمضاء العالية (Highly Brakish) حيث المقاومة < 2-3 Ω متر. فى المياه العذبة أو الخمضاء المنخفضة حيث يسود تصاعد الأكسجين فإنه يكون طبقة من نواتج تآكل الرصاص ذات مقاومة عالية والتى تسبب انخفاض خرج التيار للآنود عند ثبات الجهد أو الزيادة فى الجهد عند ثبات التيار مع التآكل السريع وتفتت البلاتين.

المواد المركبة من الرصاص/ اكسيد الرصاص – الماجنيتيت (Pb/PbO2 magnetite) :

يبدو أن أى موصل مقاوم للتآكل له جهد فائق (Over potential) لتصاعد الكلور مثل البلاتين والجرافيت، الإيريديوم (Ir) .. الخ. يمكن أن يستخدم كقطب ميكرونى

(Microelectrodes)، كما أن هذا ينطبق على القطع الصغيرة من PbO2 المعدة بالأكسدة الآنودية للرصاص (+Pb2) عند آنود جرافيت.

توزيع الأقطاب الميكرونية من البلاتين على فترات حوالى 300 مليمتر على طول عامود آنود الرصاص يمثل الجمع ما بين التأثير والتكلفة، ذلك رغم أنه مع زيادة كثافة التوزيع للميكرو اليكترودز سينتج عنه آنود ذو صفات عالية متفوقة.

لقد تم دراسة أن جسيمات الماجنيتت فى مادة الترابط من الرصاص (Pb Matrix) يمكن أن تعمل بطريقة تشبه البلاتين فى العمل كنواة ثابتة لتكوين PbO2، ونظراً لأن Fe_3O_4 غير مكلف فإنه يكون مناسب اقتصادياً عمل سبيكة مركبة من 40 – 50% Fe_3O_4 . وقد أظهرت الاختبارات المعملية أن هذه المادة المركبة (Pb – Fe3O4) يمكن استخدامها فى المياه ذات المقاومة المنخفضة والمياه ذات المقاومة العالية.

الآنودات تامة المناعة :

الآنودات من النوع البلاتينى : (Platinized type anodes) شكل (13/1) ، فى عام 1958 أصبح الآنود الأكثر استخداماً هو من النوع البلاتينى ، حيث الترسيب الكهربى للبلاتين على التيتانيوم واستخدام فى الحماية الكاثودية لسنين كثيرة. تتكون المادة من التيتانيوم المطروق والذى يمكن أن يكون فى شكل قضيب أو سلك أو رقيقة (Sheet) أو ماسورة أو شبكة، حيث يغطى إما كلية أو جزئياً بمعدل البلاتين الرقيق الملتصق عادة بسمك يتراوح ما بين 1–5 ميكروميتر (1-5 Mm). التيار خلال سطح القطب يمر خلال الأجزاء المغطاة بالبلاتين فقط، أى تيتانيوم غير مغطى يكون طبقة حماية من الأكسيد وعازلة كهربياً ولقد ظل التيتانيوم المغطى بالبلاتين فى الاستخدام للحماية الكاثودية لمدة طويلة – ولقد تم التطوير فى كل من النوعية والكفاءة. عموماً فإن البلاتين تحدث له المناعة بسرعة أقل فى المحاليل المحتوية على الكلوريد، ولكن من المؤكد أن آنودات

البلاتين التى تعمل فى حالات الحماية الكاثودية البحرية سوف تحدث لها المناعة عادة بتكوين طبقة من الأكسيد.

اختيار نوع الآنودات البلاتينية المناسبة لبيئة معينة :

بحرى (Marine) : معظم استخدامات الحماية الكاثودية لمنع تآكل منشآت الصلب الملتصقة بمياه البحر مثل السفن، منصات الزيت خارج الشاطئ، والركائز الغاطسة بالنفث الهوائى أو المائى (Jetties) ، محطات القوى ، نظم التكرير والتبريد. البيانات عن العلاقة ما بين معدل التآكل الآنودى للبلاتين وتركيز كلوريد الصوديوم موضع فى الشكل (13/1). مقاومة البلاتين للتآكل تكون عند أقصاها فى المياه عالية الملوحة، وتنخفض بالتدريج مع التخفيف. فى مياه البحر يكون المعدل 1 ميكرو ميتر/ الأمبير × الساعة ($1Mm\ A^{-1}\ H^{-1}$). تخفيف مياه البحر بالمياه العذبة ثلاث مرات أى تقريباً 7.5 جرام/لتر يسبب زيادة فى معدل التآكل ثلاث أضعاف ، وعند استمرار خفض التركيزات يزداد معدل التآكل بحدة ليصل إلى حوالى 50 ميكروميتر/الأمبير× الساعة. عند انخفاض التركيزات أكثر كما فى حالة مياه الأنهار أو مياه الشرب، ينخفض معدل الإذابة ليصل إلى 5 ميكروميتر/الأمبير × الساعة. وقد ثبت صلاحية الاستخدام لآنود (Pt – ti) البلاتين التيتانيوم فى استخدامات مياه الأنهار العذبة.

المياه العذب : كما سبق توضيحه رغم أن الإذابة الأنودية للبلاتين تكون أكبر بمعدل 5 أضعاف فى المياه العذبة عنه فى المياه المالحة، إلا أن آنودات البلاتين مازالت مناسبة للاستخدام فى هذا المجال.

الطبقات الأرضية : (Ground Beds)

استخدام تراب الفحم يمثل طريقة لخفض مقاومة الآنود / التربة، وفى نفس الوقت تكوين مساحة سطحية عالية الحفز الكهربى (Electrocatalyist). الالتصاق بالطبقة يتم بواسطة موصل حيث مهمته الأولى هى تمرير تيار كهربياً إلى الطبقة وليس للعمل كآنود

كهروكيميائى، لقد استخدم بنجاح الكربون (الجرافيت) و (HSCI) كموصلات فى كل من الطبقات الأرضية الضحلة والعميقة للحماية الكاثودية للمنشآت المدفونة فى كل أنحاء العالم. قريباً وجد بعض الاستعمال للموصلات من نوع البلاتين ولكنها مازالت بالمقارنة فى مرحلة الطفولة. كثير من الاهتمام يقع على الطبقات الأرضية العميقة والتى تنشأ عادة من ثقب بقطر ما بين 15 – 20سم (6–12 بوصة) وبعمق حتى 100 متر أو أكثر، مع الخرج الذى يتراوح ما بين أمبيرات قليلة حتى قليل من عشرات الأمبيرات. وهذه لها مميزات عن الطبقات الأرضية السطحية بخصوص توفير تحسن فى توزيع التيار على طول خط الأنابيب الجارى حمايته حيث التداخل الأقل مع المنشآت الأخرى، النقص فى الرطوبة عادة لا يشكل مشكلة. وليس عيوب الطبقات العميقة هى ارتفاع تكلفة الإنشاء ووقوع الفشل السابق لأوانه.

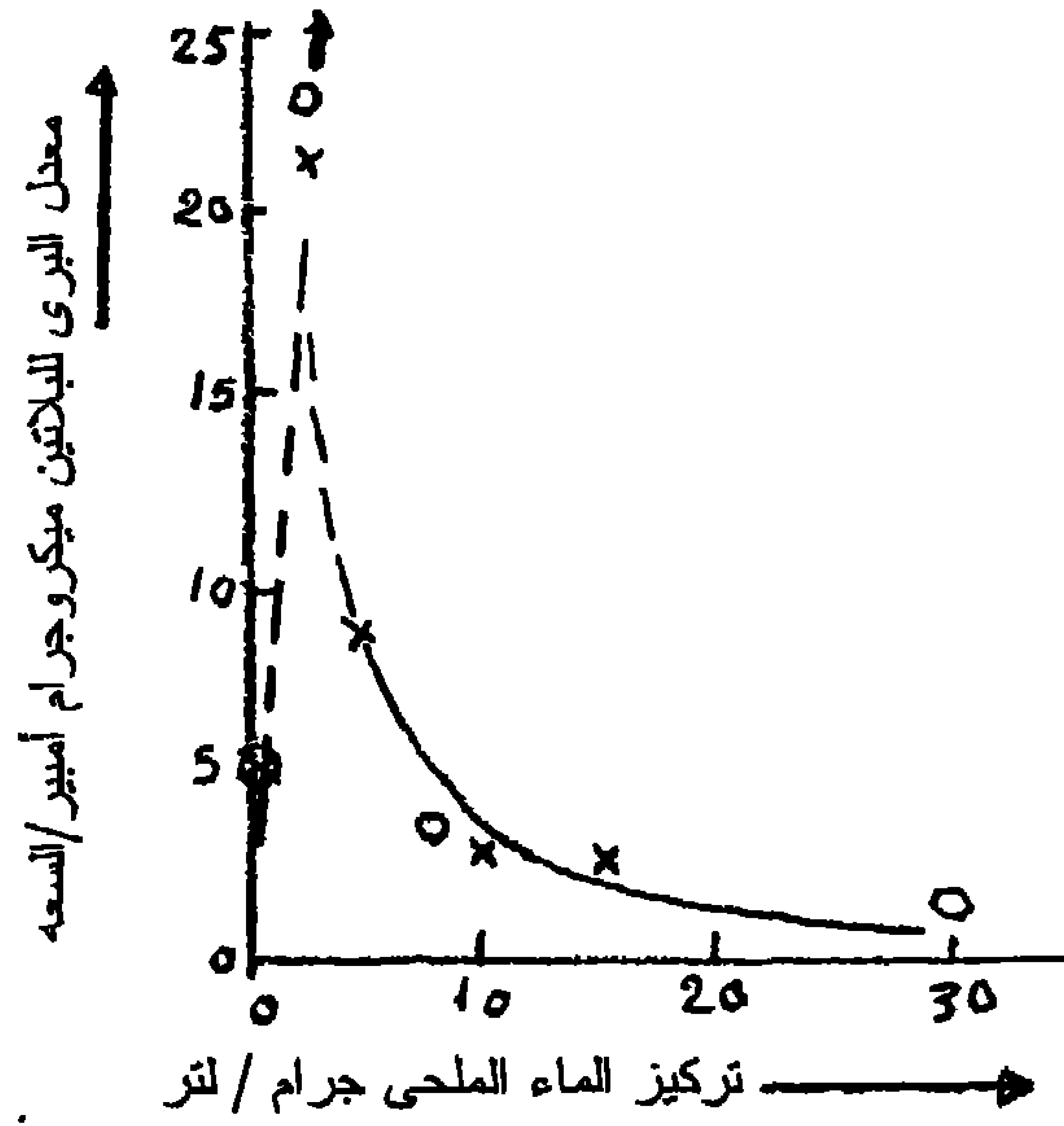
تم استخدام ثلاث طرق لإنشاء الطبقة الأرضية العميقة وهى :

- الردم بتراب الكوك والدمك بركام الزلط، ووجود موصل الذى لايتم استبداله.
- الردم باستخدام الكوك الزلج المسال (Lubricated Fluidizable coke) والذى يمكن ضخه خارج الثقب فى تاريخ لاحق لوضع موصل التيار.
- الثقب المفتوح كبديل، حيث الآنود، المعارض لموصل التيار يكون معلقاً ببساطة فى المياه المتجمعة فى قاع البئر.

طريقة العمل الطبقات الأرضية بالردم (Backfilled) والطبقات الأرضية المعلقة تختلف كل منها عن الآخر. باستخدام الردم من الكوك فإن القطب يكون أساساً موصل كهربى، والمعيار الهام هو أقصى كثافة تيار ممكنة للعمل على الموصل والتى يبدو أن لها علاقة لمقاومة التربة المحيطة، المحتوى على الأملاح ومكونات الموصل. تحقق نجاح باستخدام كثافات تيار متوسطة حتى بضع عشرات من الأمبير على المتر المربع كما أن الكفاءة الجيدة تمت باستخدام الموصلات من نوع البلاتين فى الردم من الكوك المسال عند حتى 300 أمبير على المتر المربع، حيث كان هناك فشل عند كثافات تيار أعلا. من

المشاهد حالياً يبدو أن كثافة تيار الموصل يجب أن تكون فى حدود 100 - 150 أمبير/ المتر المربع، ولكن مع بعض المجال طبقاً للظروف البيئية المعينة.

فى حالة الطبقة الأرضية فى الثقب المفتوح ، يعمل القطب كلية لمعاونة التفاعل الكهركيميائى المكون لعمل الطبقة الأرضية. الاليكتروليت عادة هو المياه الحمضاء والذى يكون به محتوى عالى من الكلوريد كلما اقترب البئر العميق من الشاطئ، وعادة يكون به محتوى عالى من الكبريتات كلما بعد عن الشاطئ. طبقاً لجيولوجيه الموقع وموقع الحفر للبئر ، قد يكون هناك أو لا يكون معدل الاستبدال الاليكتروليت فى البئر. بينما تصميم البئر المفتوح يمثل بساطة كبيرة إلا أن ظروف التشغيل للآنود شديدة العدوانية. إذا كان معدل استكمال النقص فى المياه منخفض عندئذ يمكن أن يصبح الاليكتروليت عالى الحموضة. حتى فى حالة التركيز الأولى العالى للمحتوى من الكلوريد، فإن الاستهلاك التدريجى لآيون الكلوريد (Cl) بسبب تصاعد الكلور يمكن أن يؤدى أخيراً إلى تصاعد الأكسجين وزيادة تركيز الحامض. أنواع مواد الآنود التى قد تكون مناسبة للطبقة الأرضية للثقب المفتوح العميق . إن اختيار الجرافيت أو حديد الكروم عالى السيليكون (HSCI) يمكن أن يسبب مشاكل نحو الحمل للوزن الكبير للآنود والحاجة إلى قطر كبير نسبياً للثقب لاحتواء الحجم الطبيعى لهذه الآنودات. أشارت بعض الأبحاث إلى أن آنود (Pt – Nb) الصغير وعند كثافة تيار عالية يكون جيداً. كما أن أبحاث أخرى أظهرت أنه يمكن أن يكون هناك ارتفاع ملحوظ فى درجة الحرارة من التسخين المقاوم (Resistive Heating) فى الطبقات الأرضية عالية الخرج للتيار. تظل الدراسة حول الظروف المحيطة قرب آنودات البلاتين. يبدو أن الأقطاب من البلاتين، النوبيوم (Pt, Nb)، البلاتين – التيتانيوم (Pt – Ti) ستكون مناسبة فى الاليكتروليت الملحى الذى يتم تجديده واستكماله من آن لآخر. وفى حالات أخرى فإن التأثير المشترك لكل من النقص فى محتوى الكلوريد وتكون الحموضة وارتفاع درجة الحرارة قد يؤدى إلى ظروف عدوانية وبالتالى يقلل من صلاحية آنود (Pt – Nb).



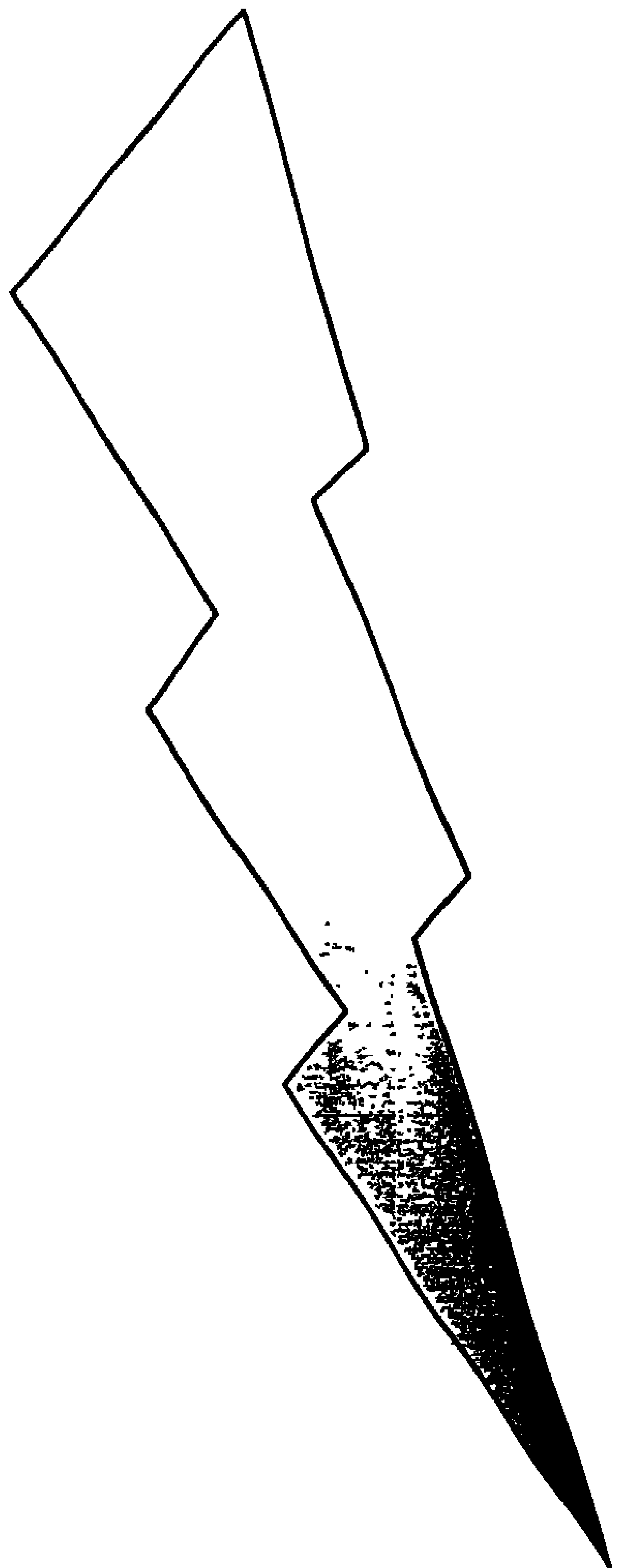
شكل (13/1) تأثير تركيز المياه المالحة على معدل التآكل للبلاتين

جدول (13-5) خواص واستخدام الأدوات بالتيار التأثيرى

	تيتانيوم بلاتين	بلاتين	حديد الكروم عالى السيليكون	حديد عالى السيليكون	صلب	حديد	حديد زهر	Pb-6sb 1Ag	رصاص بلاتين	جرافيت	ألومنيوم	زنك	تراب الكوك	ترسيب حرارى لأكسيد معدن ثمين على التيتانيوم
الاستهلاك كجرام/أمبير ×العام	-	10^{-6}×8.63	B 1-0.25	B 1-0.25	9.1-6.8	حوالى 9.5	6.8-4.5	B 0.9	B 0.9	B 1.0-0.1	4.5	10.8	5.00	B 4-10×4.75
أدنى معامل أمان على مساحة المقطع	-	1.2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.5	1.5	2	1.5	1.5	M
أقصى كثافة تيار فى ماء البحر (أمبير/م²)	H	B	120	-	L	L	L	E 200	E500	30	20	20	-	1000
أقصى كثافة تيار فى الماء العذب (أمبير/م²)	H	B	120	120	L	L	L	-	-	2.5	20	20	-	M
أقصى كثافة تيار فى التربة (أمبير/م²)	B	B	60	60	O	O	O	-	-	A 10	2.5	2.5	2.5	M
أقصى فولت فى ماء البحر (فولت)	A-B	D-G	D	-	D	D	D	D	D	D	D	D	-	أنظر Pt-Ti
أقصى فولت فى الماء العذب (فولت)	B	D-G	D	D	D	D	D	-	-	D	D	D	-	أنظر Pt-Ti
المقاومة النوعية عند 20م (أوم سم×10^{-6})	48.2	9.85	72	72	17	12	00	E25	E22	C700	3.3	6.2	B	أنظر Pt-Ti
الكثافة جرام/سم³	4.51	21.45	7	7	7.7	7.82	1.7	10.9	11.3	1.67-1.56	7.2	7.1	B	أنظر Pt-Ti
إجهاد الشد كجرام/سم²	4700-6300	K2500	1100	1300	5000	3000	1500	300	250	280	850	-	-	أنظر Pt-Ti
الاستخدام العام بيئة بحرية	√	N*	√	×	√	√	√	√	√	√	NX	√	√	√
مياه الشرب	N*	N*	N*	√	×	×	×	×	×	×	√	×	×	M
فى ردم كربونى	N*	N*	√	√	√	√	√	×	×	×	×	×	-	M
دفن مباشر فى التربة	N*	N*	√	√	N*	N*	N*	×	×	N*	N*	N*	√	M
سوائل عالية النقاء	√	N*	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	M

ملاحظات: A= تستخدم مع الردم بالمواد الكربونية - B= يتم الرجوع إلى المراجع- C= أقصى المعادى طولياً- D= محدود بالظروف البيئية المحلية لمتطلبات الأمان - E= على كثافة تيار لتأكيد المناعة 50 أمبير/المتر المربع- F= مقاومة الرصاص 4050 أوم سم- G= الفولت على البلاتين 1.35 فولت على الأقل H= 400 أمبير/ المتر المربع لكل ميكرومتر من البلاتين J= مرسب كهربياً- K= 50 % مشكل على البارد (مدرفل)- L= فى التعليق الحر فى مياه متحركة لاحدود. تأثيرات محلية عند كثافة تيار عالية يمكن أن تزيد من معدل الفقد- M= معلومات غير متاحة - N= يمكن الاستخدام فى ظروف بيئية خاصة.

المـــراجـــع



المراجـــع

NACE Standards

TPC5 Publications Corrosion Control In petroleum Production.

R P. 06-75 Corrosion Control of Offshore Steel Constructions.

RP – 05-75 Design Installation Operation, and Maintenance of Internal Cathodic Protection in Oil Treating Vessels

NACE Books:

Item No. 25088, Offshore Cathodic protection.

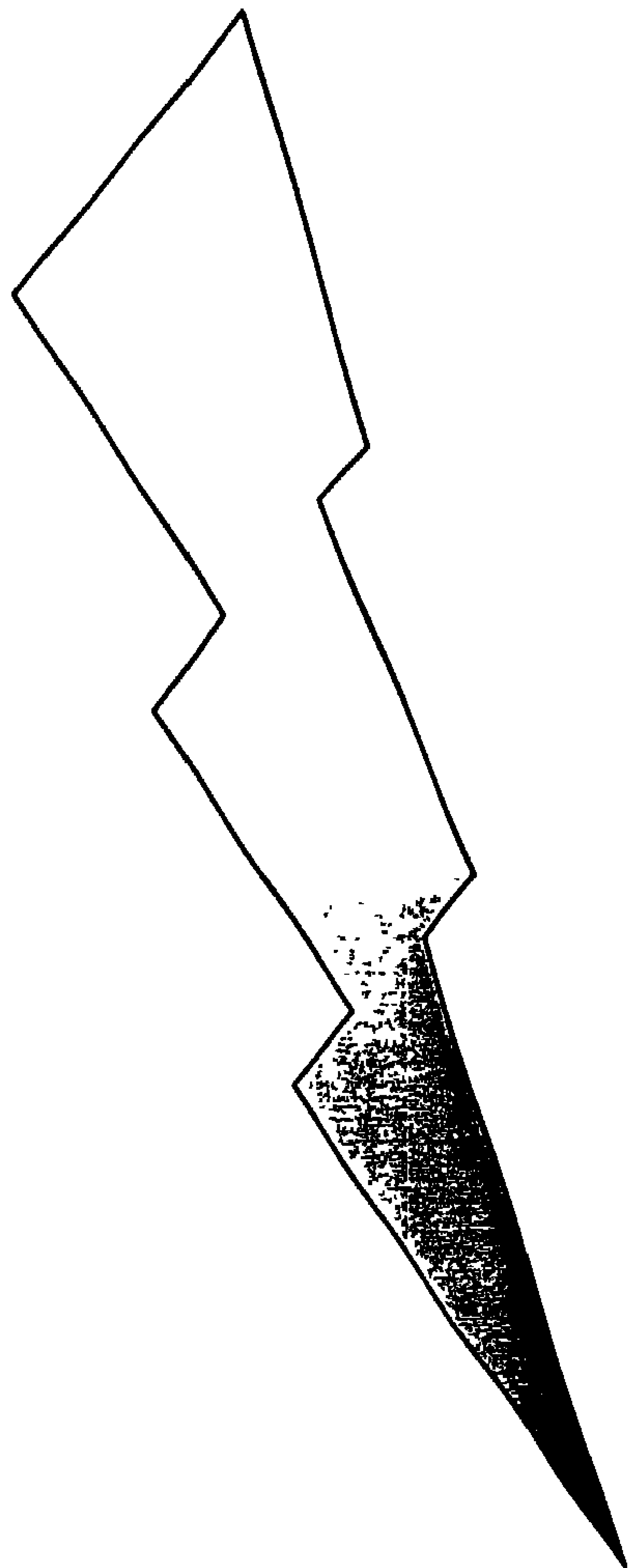
Item No. 52044, Coating and Linings for Immersion Service.

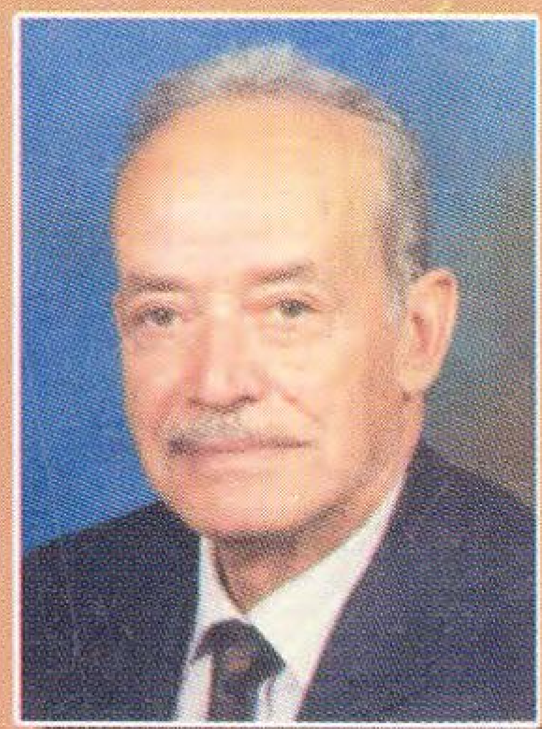
Item No. 51097, Corrosion Data Survey

Item No. 51073, Corrosion Inhibitors.

GELL in GS P.J. Introduction to Corrosion Prevention and Control for Engineers. Delft University Press, 1976.

الفهـــرس





- عضو المجالس القومية المتخصصة
- عضو مجلس إدارة جمعية المهندسين الكيميائين
- عضو الجمعية المصرية لتأكل الفلزات وحمايتها
- له مراجع علمية فى مجال تكنولوجيا وعلوم المياه

مهندس استشاري

محمد أحمد خليل

نظرا للاستثمارات الضخمة التى تنفق فى مجال حقول البترول والغاز وكذلك خطوط مواسير النقل والخزانات ومعدات التصنيع والتكرير ، فإن حماية المعدات المستخدمة فى هذا المجال من التآكل يعتبر من الأمور الهامة من الناحية الاقتصادية والفنية .

وفى هذا الكتاب تم تناول موضوعات أسياسات التآكل وأنواعه وطرق الكشف عن التآكل ، وكذلك طرق الحماية .

نرجو الله أن يحقق هذا الكتاب إضافة علمية للمكتبة العربية وأن يحقق الإفادة للعاملين فى هذا المجال.

والله من وراء القصد

الناشر



الغلاف : جمال خليفة

ISBN 977-287-533-0



دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة
☎ ٧٩٥٤٢٢٩
WWW sbheg.com
e-mail: sbh@link.net